

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y**  
**Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica**



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR ELECTROMAGNÉTICO  
BASADO EN TRANSMISIÓN DE ENERGÍA INALÁMBRICA POR MEDIO DE  
BOBINAS RESONANTES PARA LA DETECCIÓN DE RUPTURA LONGITUDINAL  
DE FAJAS TRANSPORTADORAS”.**

Tesis presentada por el Bachiller:  
**Castañeda Soto, José Luis**

Para optar el Título Profesional de:  
**Ingeniero Electrónico**

Asesor:  
**Mg. Valdivieso Herrera, Diana Isabel**

**Arequipa – Perú**

**2021**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA ELECTRONICA**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 26 de Enero del 2021

**Dictamen: 000769-C-EPIE-2021**

Visto el borrador del expediente 000769, presentado por:

**2005240841 - CASTAÑEDA SOTO JOSE LUIS**

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR ELECTROMAGNÉTICO BASADO EN TRANSMISIÓN  
DE ENERGÍA INALÁMBRICA POR MEDIO DE BOBINAS RESONANTES PARA LA DETECCIÓN DE  
RUPTURA LONGITUDINAL DE FAJAS TRANSPORTADORAS**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1547 - RODRIGUEZ GONZALES PEDRO ALEX  
DICTAMINADOR**



**1692 - VALDIVIESO HERRERA DIANA ISABEL  
DICTAMINADOR**



**1843 - URRUTIA ESPINOZA MARIO WILLIAM  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación es dedicado principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos logre llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, ha sido un orgullo y un privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas por estar siempre presente, acompañándome en todo momento y brindando el apoyo moral a lo largo de mi vida.

A mis sobrinos Sebastian y Valentina, que a lo largo de todos los años juntos que pasamos, hacen que mis días sean más alegres y estoy seguro que la vida les devolverá toda la felicidad que me dieron.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho posible que este trabajo se realice con éxito.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Alma Mater por haberme permitido formarme en sus aulas compartiendo ilusiones y anhelos. Con constancia, dedicación y esfuerzo, logre alcanzar mis sueños.

Agradezco mucho a mis maestros por su paciencia infinita, confianza eterna y el tiempo que le dedican a esta hermosa Profesión, en la cual, por su dedicación, su esfuerzo y compromiso es nuestra base fundamental de nuestro desarrollo profesional, con el cual por sus consejos, enseñanzas y sabiduría sabemos cómo afrontar de mejor manera los problemas y obstáculos que a diario enfrentaremos.



## RESUMEN

Este trabajo de tesis presenta el diseño e implementación de un sensor electromagnético basado en transmisión de energía inalámbrica por medio de bobinas resonantes para la detección de ruptura longitudinal en fajas transportadoras. Así mismo amplía el estudio de los principios físicos en fenómenos de campos magnéticos y sus múltiples aplicaciones en el campo de instrumentación industrial.

Un problema crítico suscitado en la industria es la ruptura de fajas transportadoras de forma longitudinal, para lo cual, en la actualidad existen pocos métodos de detección para desarrollar un correcto mantenimiento preventivo o correctivo. Dicho esto, el propósito principal de este estudio, es desarrollar tecnología en el campo de la instrumentación para la detección del problema ya mencionado, y que sea accesible en costos y desarrollo.

En principio el proyecto se basa en el estudio de campos magnéticos y una nueva tecnología que está creciendo a pasos agigantados como es la witricidad (del inglés witrlicity o Wireless electricity), que es la transmisión de energía eléctrica sin un medio físico.

Tal cual los sensores inductivos varían su campo magnético según la distancia del objeto sensado, los circuitos resonantes transmiten y varían su energía según la distancia que sean posicionadas, lo cual será aprovechada para el principio del diseño del sensor.

La verificación del funcionamiento será mediante el desarrollo de un módulo de faja transportadora a escala, en la cual se obtendrán los resultados de la prueba.

En conclusión, con el desarrollo de este proyecto obtendremos diversos resultados positivos, por ejemplo, didácticamente se puede ampliar el desarrollo de esta tecnología en otras aplicaciones y económicamente su implementación tendrá costos más reducidos que los sistemas existentes.

**Palabras claves:**

Sensor magnético, fajas transportadoras, Instrumentación industrial, Campos magnéticos, Campos electromagnéticos, Circuitos resonantes, Circuitos monoestables, Witricidad.



## ABSTRACT

This thesis work presents the design and implementation of an electromagnetic sensor based on wireless energy transmission by means of resonant coils for the detection of longitudinal rupture in conveyor belts. Likewise, it extends the study of physical principles in magnetic field phenomena and their multiple applications in the field of industrial instrumentation.

A critical problem raised in the industry is the rupture of conveyor belts longitudinally, for which, currently, there are few detection methods to develop correct preventive or corrective maintenance. That said, the main purpose of this study is to develop technology in the field of instrumentation for the detection of the aforementioned problem, and that is accessible in costs and development.

In principle the project is based on the study of magnetic fields and a new technology that is growing by leaps and bounds such as witricity (from English witricity or Wireless electricity), which is the transmission of electrical energy without a physical medium.

Just as inductive sensors vary their magnetic field according to the distance of the sensed object, the resonant circuits transmit and vary their energy according to the distance they are positioned, which will be used for the principle of the sensor design.

Operational verification will be through the development of a scale conveyor belt module, in which the test results will be obtained.

In conclusion, with the development of this project we will obtain various positive results, for example, didactically, the development of this technology can be expanded in other applications and economically its implementation will have lower costs than existing systems.

### **Keywords:**

Magnetic sensor, conveyor belts, Industrial instrumentation, Magnetic fields, Electromagnetic fields, Resonant circuits, Monostable circuits, Witricity.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el campo industrial se viene dando un problema que cada vez se vuelve más frecuente, que es la ruptura longitudinal de fajas transportadoras, y que no son generadas por desgaste, sino por causas externas a la producción que no fueron previstas anteriormente, resulta que cuando sucede este tipo de ruptura, la falta de instrumentación para su detección es escasa o nula, lo cual genera pérdidas de producción, debido al tiempo empleado en el mantenimiento de las fajas.

Por ello, y basado en los casos existentes, el desarrollo de sensórica para este problema está muy poco desarrollado debido a la poca frecuencia y a la complejidad del problema.

Por tanto, el presente proyecto tiene como objetivo el diseño, desarrollo e implementación de un dispositivo instrumental para la detección de ruptura longitudinal en fajas transportadoras.

Para el desarrollo de estos sensores, se empleará técnicas desarrolladas en campos magnéticos, los cuales, aplicados en circuitos resonantes, dan como resultado la variación en magnitudes eléctricas, que son más fáciles de manipular en ámbitos de tensión, corriente o frecuencia.

Se diseñará un emisor, un receptor y un acoplamiento magnético resonante, que son las partes fundamentales en circuitos eléctricos resonantes, estos 3 elementos serán dispuestos de tal manera que la variación de un componente, que es el acoplamiento, genere una variación de magnitud eléctrica en el receptor, lo cual será nuestro principio para desarrollar un método de detección al problema propuesto.

El presente proyecto incluye el desarrollo, implementación física y puesta en funcionamiento de sensor basado en campos electromagnéticos.



## ÍNDICE GENERAL

### RESUMEN

### ABSTRACT

### INTRODUCCION

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1. Identificación del problema.....	1
1.2. Descripción del problema.....	1
1.3. Objetivos. ....	2
1.3.1. Objetivo principal.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Alcances del proyecto. ....	3
1.5. Limitaciones del proyecto. ....	4
1.6. Justificación del estudio. ....	4
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Bobinas.....	5
2.1.1. Funcionamiento.....	5
2.1.2. Características de una bobina. ....	6
2.1.3. Tipos de bobinas.....	7
2.2. Electricidad inalámbrica.....	12
2.3. Campos electromagnéticos.....	13
2.3.1. Electromagnetismo.....	14
2.3.2. Inducción electromagnética.....	17
2.4. Inducción magnética o inducción de campo cercano. ....	18
2.4.1. Transferencia de energía inalámbrica por inducción magnética. ....	19
2.5. Resonancia. ....	21
2.5.1. Resonancia de circuito oscilatorio forzado o circuito resonante. ....	22
2.6. Acoplamiento resonante inductivo de campo cercano. ....	23
2.6.1. Clasificación de acoplamientos inductivos. ....	24
2.6.2. Frecuencia de resonancia.....	25
2.6.3. Principios básicos de la transmisión de energía por acoplamiento magnético.....	27
2.6.4. Eficiencia de transferencia de un acoplamiento resonante.....	28
2.6.5. Factor de acoplamiento. ....	30
2.7. Instrumentación inductiva y magnética.....	32
2.7.1. Sensores inductivos. ....	32
2.7.2. Sensores magnéticos. ....	34
2.8. Fajas transportadoras.....	35
2.8.1. Ventajas y desventajas de fajas transportadoras.....	35
2.8.2. Tipos de fajas transportadoras.....	36
2.8.3. Elementos de una faja transportadora tipo Belt Conveyor.....	38
2.8.4. Equipos de protección y automatización en fajas transportadoras tipo Belt Conveyor.....	38
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>40</b>
<b>INGENIERÍA DE DETALLE .....</b>	<b>40</b>
<b>3. DISEÑO DEL HARDWARE. ....</b>	<b>40</b>

3.1. Diagrama de bloques general .....	40
3.2. Etapa de alimentación. ....	41
3.2.1. Circuito rectificador VAC – VDC.....	41
3.3. Etapa emisora de campo magnético. ....	46
3.3.1. Circuito generador de campo magnético.....	46
3.4. Etapa de enlace inductivo.....	56
3.4.1. Bobinas resonantes.....	56
3.5. Etapa receptora de campo magnético.....	59
3.5.1. Circuito rectificador. ....	59
3.6. Etapa de tratamiento de señal.....	62
3.6.1. Circuito regulador .....	62
3.6.2. Circuito generador de pulsos.....	62
3.7. Etapa de control y comparación .....	67
3.7.1. Circuito monoestable.....	67
3.7.2. Circuito monoestable redisparable.....	72
3.7.3. Circuito comparador.....	75
3.8. Etapa de salida.....	79
3.8.1. Circuito de salida por relé. ....	79
3.9. Circuito completo.....	83
3.10.Circuito 3D.....	84
3.11.Especificaciones técnicas del sensor.....	84
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>86</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>86</b>
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN. ....</b>	<b>86</b>
4.1. Etapas de implementación del proyecto.....	86
4.1.1. Recopilación de información del problema en el proceso de transporte en fajas.....	86
4.1.2. Búsqueda de métodos de solución.....	87
4.1.3. Elección de solución y tecnología empleada.....	88
4.1.4. Diseño de solución. ....	89
4.1.5. Método de solución. ....	90
4.1.6. Normativas utilizadas para el proyecto. ....	90
4.2. Puntos a analizar en el desarrollo del proyecto. ....	92
4.2.1. Material adecuado para el bucle resonante.....	92
4.2.2. Tipos de fajas transportadoras.....	93
4.2.3. Material de faja transportadora.....	93
4.2.4. Tipos de proceso.....	93
4.2.5. Distancia entre fajas. ....	93
4.3. Costo de fabricación e implementación. ....	93
4.3.1. Fabricación de instrumento. ....	94
4.3.2. Fabricación de bucle resonante. ....	94
4.3.3. Instalación de bucle resonante.....	94
4.3.4. Costos de mano de obra/día trabajado.....	95
4.4. Comparación de costos con proyectos existentes.....	97
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>100</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN DE MODULO .....</b>	<b>100</b>
<b>5. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO A ESCALA. ....</b>	<b>100</b>
5.1. Etapa Instrumental.....	100
5.1.1. Diseño e impresión del esquema del circuito. ....	100

5.1.2. Elaboración de circuito electrónico.....	103
5.1.3. Implementación del circuito en un case.....	105
5.1.4. Distribución de bobinas emisoras y receptoras.....	106
5.2. Etapa Eléctrica.....	107
5.2.1. Motor eléctrico.....	107
5.2.2. Tablero eléctrico.....	109
5.3. Etapa Mecánica.....	113
5.3.1. Estructura metálica.....	113
5.3.2. Faja principal.....	115
5.3.3. Transmisión mecánica.....	116
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>117</b>
<b>INTERPRETACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>117</b>
<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>117</b>
6.1. Introducción.....	117
6.2. Pruebas.....	117
6.2.1. Pruebas por medio de simulación de pulsos.....	117
6.2.2. Pruebas mediante funcionamiento de módulo.....	119
6.3. Interpretación de pruebas y resultados.....	122
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>123</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>128</b>



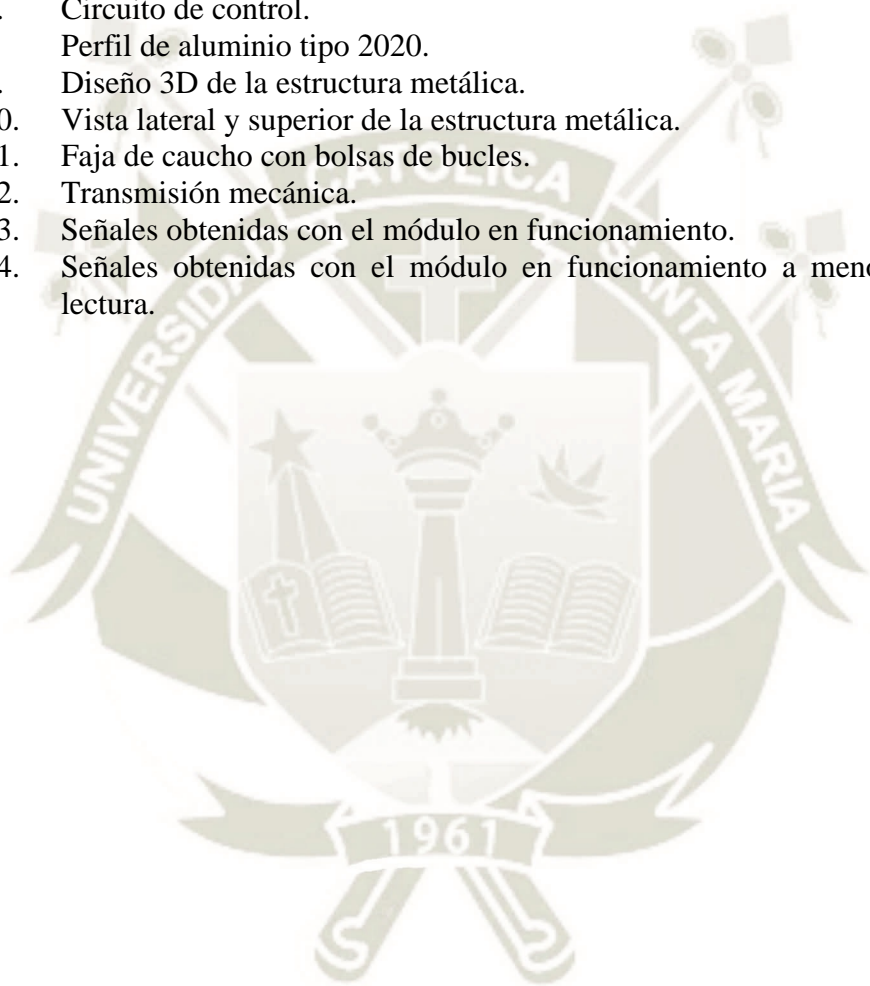
## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Similitud entre una bobina y un imán.  
Figura 2. Bobinas de núcleo de aire.  
Figura 3. Bobinas de núcleo sólido.  
Figura 4. Bobinas de nido de abeja.  
Figura 5. Bobinas de núcleo toroidal.  
Figura 6. Bobinas de ferrita arrollada.  
Figura 7. Bobinas grabadas en placas de cobre.  
Figura 8. Bobinas variables.  
Figura 9. Vector de Pointing “S”.  
Figura 10. Inducción Electromagnética.  
Figura 11. Demostración de Inducción Magnética.  
Figura 12. Transferencia de Energía por Inducción Magnética.  
Figura 13. Generación de Campo magnético 1.  
Figura 14. Generación de Campo magnético 2.  
Figura 15. Generación Nula.  
Figura 16. Comportamiento en Circuito Resonante RLC.  
Figura 17. Respuesta en Corriente Frente a Cambios de Frecuencia.  
Figura 18. Acoplamiento resonante entre dos bobinas.  
Figura 19. Frecuencia de resonancia en un circuito LC.  
Figura 20. Transferencia de campos magnéticos entre bobinas.  
Figura 21. Gráfico que muestra la eficiencia del sistema en función de la dependencia entre la distancia entre bobinas ( $z$ ) y su diámetro de circunferencia ( $D$ ).  
Figura 22. Grafica que muestra el valor del acoplamiento en función de la distancia y la desalineación de los anillos.  
Figura 23. Fajas planas (Belt conveyors)  
Figura 24. Elementos de una faja transportadora.  
Figura 25. Equipos de protección en una faja transportadora.  
Figura 26. Diagrama de bloques del sensor magnético.  
Figura 27. Diagrama de bloques circuito rectificador.  
Figura 28. Regulador de 3 terminales.  
Figura 29. Configuración de reguladores para la construcción del sensor.  
Figura 30. Circuito rectificador completo.  
Figura 31. Señales de entrada y salida del transformador.  
Figura 32. Señal obtenida del puente rectificador.  
Figura 33. Simulación de señales de salida de los reguladores de tensión.  
Figura 34. Diagrama de bloques etapa de potencia  
Figura 35. Circuito básico de transistor en modo on-off.  
Figura 36. Bobina plana con núcleo de aire tipo panqueque.  
Figura 37. Circuito de potencia generador de pulsos de alta corriente.  
Figura 38. Señal de alta corriente a la salida del colector del transistor.  
Figura 39. Señal de comparación de entrada y salida del transistor.  
Figura 40. Diagrama de bloques del enlace inductivo.  
Figura 41. Distribución de bobinados del acoplamiento resonante.  
Figura 42. Acoplamiento resonante utilizado en los bucles.



- Figura 43. Diseño de acoplamiento resonante.
- Figura 44. Campo magnético generado por el acoplamiento resonante.
- Figura 45. Diagrama de bloque receptor de campo magnético.
- Figura 46. Diseño de circuito receptor de campo magnético.
- Figura 47. Señal obtenida de la bobina receptora.
- Figura 48. Diagrama de bloques etapa de tratamiento de señal.
- Figura 49. Corrientes y voltajes en un transistor.
- Figura 50. Corrientes del transistor.
- Figura 51. Voltajes del transistor.
- Figura 52. Diseño de circuito de tratamiento de señal.
- Figura 53. Señal obtenida a la salida del transistor.
- Figura 54. Diagrama de bloques etapa de control y comparación.
- Figura 55. Interior de un encapsulado 74LS123
- Figura 56. Red RC para determinar tiempo.
- Figura 57. Variación de constante K según capacitor.
- Figura 58. Circuito monoestable.
- Figura 59. Diagrama de tiempos de un circuito monoestable.
- Figura 60. Distribución de encapsulado 4538.
- Figura 61. Circuito monoestable redisparable.
- Figura 62. Diagrama de tiempos de un redisparable.
- Figura 63. Distribución de compuertas en un encapsulado 7432.
- Figura 64. Configuración de resistencia Pulldown.
- Figura 65. Tabla de verdad compuerta OR.
- Figura 66. Circuito comparador.
- Figura 67. Diagrama de tiempos compuerta OR.
- Figura 68. Diagrama de bloques etapa de salida.
- Figura 69. Circuito de activación de relé.
- Figura 70. Transistor en corte.
- Figura 71. Transistor saturado.
- Figura 72. Diodo usado para proteger el circuito.
- Figura 73. Circuito de salida.
- Figura 74. Circuito completo.
- Figura 75. Circuito 3D.
- Figura 76. Sensor de banda rota.
- Figura 77. Sensores de ruptura existentes.
- Figura 78. Método de vulcanizado de fajas.
- Figura 79. Costo de importación de tecnología existente.
- Figura 80. Costo unitario vendido a SMCV por Kingdom Solution.
- Figura 81. Diseño de Placa en MULTISIM.
- Figura 82. Diseño final de placa en MULTISIM.
- Figura 83. Distribución de componentes en placa electrónica.
- Figura 84. Negativo de placa lista para ser impresa en baquelita.
- Figura 85. Placa quemada en baquelita.
- Figura 86. Circuito electrónico según software MULTISIM.
- Figura 87. Circuito electrónico construido
- Figura 88. Distribución de componentes del sensor.

- Figura 89. Sensor concluido y fijado a la estructura.
- Figura 90. Bobinas emisora y receptora dentro de encapsulad de resina.
- Figura 91. Motor con reductor FRANKLING ELECTRIC.
- Figura 92. Placa del motor FRANKLING ELECTRIC.
- Figura 93. Parte exterior de tablero eléctrico.
- Figura 94. Interior del tablero eléctrico.
- Figura 95. Diagrama de bloques tablero eléctrico.
- Figura 96. Circuito de fuerza.
- Figura 97. Circuito de control.
- Figura 98. Perfil de aluminio tipo 2020.
- Figura 99. Diseño 3D de la estructura metálica.
- Figura 100. Vista lateral y superior de la estructura metálica.
- Figura 101. Faja de caucho con bolsas de bucles.
- Figura 102. Transmisión mecánica.
- Figura 103. Señales obtenidas con el módulo en funcionamiento.
- Figura 104. Señales obtenidas con el módulo en funcionamiento a menor frecuencia de lectura.



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Simbología de inductancias variables.
Tabla 2.	Ecuaciones de Maxwell
Tabla 3.	Tabla de funciones del 74LS123.
Tabla 4.	Tabla de funciones del HCF4538BE.
Tabla 5.	Costos de sensor.
Tabla 6.	Costos de fabricación de bucle.
Tabla 7.	Costos de instalación de bucle.
Tabla 8.	Costos de mano de obra.
Tabla 9.	Costos de EPP.
Tabla 10.	Costos equipos maquinarias y herramientas.
Tabla 11.	Costos de transporte de personal.
Tabla 12.	Costos de alimentación.
Tabla 13.	Resumen de costos.
Tabla 14.	Costos para 1 km de faja.
Tabla 15.	Pruebas con falla de un solo bucle.
Tabla 16.	Pruebas con falla de dos bucles indistintos.
Tabla 17.	Pruebas con falla de 3 bucles consecutivos.



## CAPÍTULO I GENERALIDADES

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

#### 1.1. Identificación del problema.

En la actualidad, una parte fundamental en la producción minera e industrial, es el sistema de transporte continuo de materia prima o producto terminado dentro de cualquier proceso. En general el sistema de transporte continuo esta principalmente compuesto por fajas transportadoras, los cuales en todo momento deben encontrarse funcionales, de lo contrario implica una para total de la producción.

La disfuncionalidad de una faja transportadora puede darse por diversos motivos, siendo los principales, el rasgado o ruptura parcial o total de la faja, ya sea de manera transversal o longitudinal.

#### 1.2. Descripción del problema.

La para o detención de un proceso industrial o minero, conlleva a la pérdida sustancial de recursos de materia prima o económicos, esto da a entender que dichos procesos tienen que ser continuos, solo con paradas programadas en el caso de mantenimiento preventivo o correctivo.

Dichas paradas programadas se aplican para el monitoreo o cambio de fajas transportadoras, las cuales, desde ya, tienen un tiempo de vida útil. Pero últimamente y por factores ajenos a la producción, se ha detectado que las fajas transportadoras están sufriendo rupturas longitudinales, que en un principio era un problema con bajo índice de probabilidad que suceda, lo que conlleva a que la sensórica para este tipo de problema recién se encuentre en un proceso de desarrollo, y las pocas técnicas de solución en la actualidad tengan un alto costo de mantenimiento o prevención.

Se registran casos en algunas empresas que cuentan con sistemas instrumentales de alta calidad, hayan sufrido una para total de producción por este tipo de suceso al no



contar con sensores de ruptura longitudinal, ya que la instalación preventiva de instrumentos es costosa y escasa.

Como ya se indicó anteriormente, la ruptura longitudinal de fajas no se da por un factor de desgaste, sino es causada por factores externos como el desprendimiento de partes mecánicas dentro del proceso que llegan a rasgar o cortar la faja.

Previamente se hizo un estudio sobre la tecnología aplicada para este tipo de problemas dentro de la instrumentación en fajas, y se encontró que ya existe una solución, la cual aplica principios de radiofrecuencia, y funciona bajo la premisa de circuito cerrado y etiquetas RFID (identificación por radiofrecuencia).

Similar al proyecto presentado, la tecnología actual trabaja con bucles colocados estratégicamente en la faja transportadora, pero para que estos bucles, que funcionan como antenas, tengan una buena emisión y recepción, tienen que ser de un material liviano (aluminio), ya que este material es ideal para transmitir las ondas de radiofrecuencia, y esto conlleva a que la vida útil de los bucles sea más baja en comparación con otros materiales.

Concluido el presente trabajo, se logrará obtener un sistema para la detección de ruptura longitudinal de fajas transportadoras, fabricadas con otro tipo de tecnología, como solución a la problemática y que es aplicable a bajo costo.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo principal.**

Diseñar e implementar un dispositivo instrumental para la detección específica de ruptura longitudinal de fajas transportadoras.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- Desarrollo de nuevas técnicas de detección sensorial, en este caso, la detección basada en campos magnéticos.
- Desarrollar soluciones instrumentales que disminuyan el costo de implementación, el cual es beneficioso para la industria.
- Demostrar que las nuevas tecnologías (Witricidad), son aplicables en diferentes procesos industriales.

### 1.4. Alcances del proyecto.

El proyecto está centrado en buscar una mejora tecnológica y económica al problema de detección instrumental en el caso específico de ruptura longitudinal de fajas transportadoras, de esta manera evitar la pérdida de recursos económicos y materia prima dentro de la producción industrial y minera.

El instrumento desarrollado será aplicable a cualquier tipo de sistema industrial o minero, ya sea en fajas de lona o fajas de lona con alma de acero.

Para dicho instrumento, se desarrollarán por separado un emisor y receptor de campos magnéticos, basados en circuitos resonantes, que es una tecnología aun no muy desarrollada en la actualidad, y mucho menos aplicada para solucionar este tipo específico de ruptura longitudinal de fajas transportadoras.

También se desarrollará un acoplamiento magnético resonante, que será un complemento del instrumento, este acoplamiento tendrá que ser colocada internamente en la faja transportadora, en primera instancia, este acoplamiento será ingresado por un método de vulcanizado, pero también, se puede dar una fabricación de las fajas con dicho acoplamiento.

Dicha tecnología está orientada a la transmisión de energía eléctrica inalámbrica mediante campos magnéticos.

La implementación se aplicará en un módulo a escala, el cual será fabricado para la verificación del proyecto en mención.

### **1.5. Limitaciones del proyecto.**

El presente trabajo está orientado al desarrollo de una nueva técnica de detección de ruptura longitudinal de fajas transportadoras, basadas en técnicas de detección por campo magnético, lo que limita su aplicación para algún otro proceso diferente al mencionado.

Claro que, basados en el principio de campos magnéticos, desarrollando una modificación de los instrumentos y delimitando la naturaleza de los parámetros de un nuevo proceso, esta tecnología puede ser utilizada no solo en sensorica y actórica, sino también en muchas otras aplicaciones en el campo de la electrónica.

### **1.6. Justificación del estudio.**

Se estima que este estudio es necesario e inmediato, por cuanto está centrado en un tema fundamental referente al mejoramiento del control de procesos y evitar fallas que conlleven a consecuencias directas en su producción, la solución está dada mediante la aplicación de técnicas de solución preventiva y predictiva.

También se estima que el estudio es necesario y actual para poder expandir los conocimientos en brindar soluciones técnicas y de ingeniería a diferentes tipos de procesos, haciendo uso de nuevas técnicas o mejoramiento de técnicas ya existentes.



## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bobinas

Las bobinas, solenoides o inductores son elementos eléctricos pasivos de dos o más terminales que almacenan energía por medio de autoinducción. Las bobinas están conformadas por un alambre o hilo de cobre aislado que se encuentra enrollado sobre un núcleo, los cuales pueden tener diferente composición, ya sea de aire o de un material ferroso como por ejemplo acero magnético, que sirven para intensificar su capacidad magnética [1].

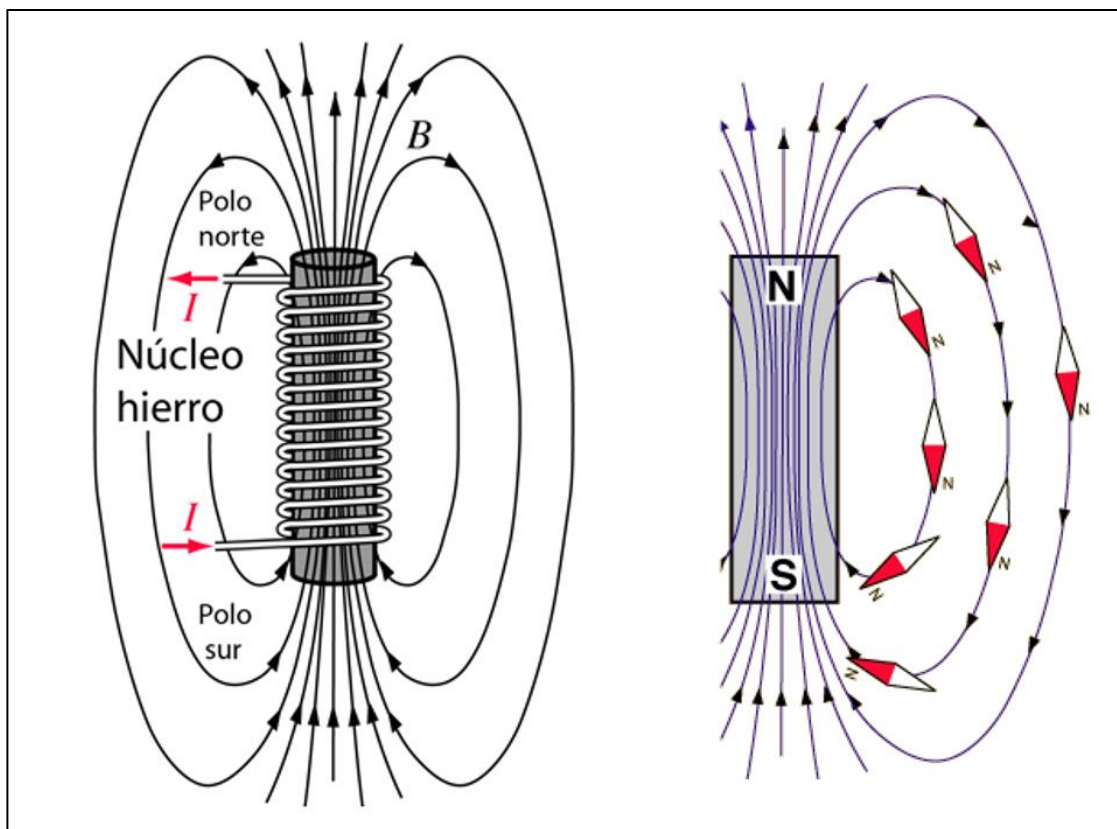
#### 2.1.1. Funcionamiento.

Todo cable por el que circula una corriente tiene a su alrededor un campo magnético, siendo el sentido de flujo del campo magnético, el que establece la ley de la mano derecha. Al estar el inductor hecho de espiras de cable, el campo magnético circula por el centro del inductor y cierra su camino por su parte exterior. Una característica interesante de los inductores es que se oponen a los cambios bruscos de la corriente que circula por ellas.

Esto significa que a la hora de modificar la corriente que circula por ellos (ejemplo: ser conectada y desconectada a una fuente de alimentación de corriente continua), esta intentará mantener su condición anterior [1].

La bobina se comporta como si fuera un imán, con un polo norte por donde salen las líneas de fuerza y un polo sur. Al variar el valor de la intensidad que circula por las espiras se altera la potencia o flujo del imán al que equivale la bobina. Al variar el sentido de la corriente eléctrica, que atraviesa la bobina se modifica la posición de los polos del imán al que equivale. Si la intensidad de corriente que circula por la bobina fuera alterna, el efecto magnético sería variable; además, los polos norte y sur cambiarían de posición con la frecuencia de la corriente [2].





*Figura 1. Similitud entre una bobina y un imán.*

*Fuente: Introducción a la Electrotecnia – I.E.S. Juan de La Cierva – España.*

### 2.1.2. Características de una bobina.

La unidad de medida de un inductor es el Henrio (H) en el Sistema Internacional, pero se suelen emplear los submúltiplos mH (mili Henrio) y  $\mu$ H (micro Henrio). Para calcular los henrios de una bobina se tienen que considerar los siguientes factores:

- El número de espiras que tenga la bobina (a más vueltas mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios).
- El diámetro de las espiras (a mayor diámetro, mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios).
- La longitud del cable de que está hecha la bobina.
- El tipo de material de que este hecho el núcleo, si es que lo tiene [1].

Algunas características específicas de las bobinas son:

- **Permeabilidad magnética.** Es una característica que tiene gran influencia sobre el núcleo de las bobinas respecto del valor de la inductancia de las mismas. Los materiales ferromagnéticos son muy sensibles a los campos magnéticos y producen unos valores altos de inductancia, sin embargo, otros materiales presentan menos sensibilidad a los campos magnéticos. El factor que determina la mayor o menor sensibilidad a esos campos magnéticos se llama permeabilidad magnética.

Cuando este factor es grande el valor de la inductancia también lo es.

- **Factor de calidad.** Relaciona la inductancia con el valor óhmico del hilo de la bobina. La bobina será buena si la inductancia es mayor que el valor óhmico debido al hilo de la misma [3].

### 2.1.3. Tipos de bobinas.

Existen principalmente dos tipos de bobinas, fijas y variables.

#### **Bobinas fijas.**

Como el nombre lo indica, su valor es fijo, y dentro de este grupo podemos encontrar varios tipos.

- **Núcleo de aire**

El conductor se arrolla sobre un soporte hueco y posteriormente se retira el soporte, quedando con un aspecto parecido al de un muelle. Se utiliza en frecuencias elevadas. Una variante de la bobina anterior se denomina solenoide y difiere en el aislamiento de las espiras y la presencia de un soporte que no necesariamente tiene que ser cilíndrico. Se utiliza cuando se precisan muchas espiras. Estas bobinas pueden tener tomas intermedias, en este caso se pueden considerar como 2 o más bobinas arrolladas sobre un mismo soporte y conectadas en serie. Igualmente se utilizan para frecuencias elevadas.

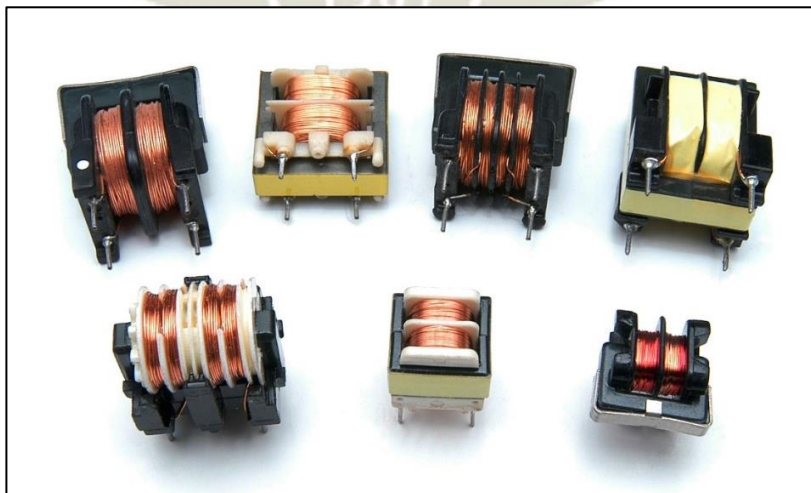


*Figura 2. Bobinas de núcleo de aire.*

*Fuente: Disponible en internet. <http://www.ea8ex.com/electronica-basica.html>*

- **Núcleo sólido**

Son bobinas que poseen valores de inductancia más altos que los de núcleo de aire debido a su nivel elevado de permeabilidad magnética. El núcleo suele ser de un material ferromagnético. Los más usados son la ferrita y el ferroxcube. Cuando se manejan potencias considerables y las frecuencias que se desean eliminar son bajas se utilizan núcleos parecidos a los de los transformadores (en fuentes de alimentación, sobre todo). Así nos encontraremos con las configuraciones propias de estos últimos. Las secciones de los núcleos pueden tener forma de EI, M, UI y L.



*Figura 3. Bobinas de núcleo sólido.*

*Fuente: Disponible en internet. <http://calonso22.blogspot.com/2015/05/bobinas.html>*



- **Las bobinas de nido de abeja.**

Se utilizan en los circuitos sintonizadores de aparatos de radio en las gamas de onda media y larga. Gracias a la forma del bobinado se consiguen altos valores inductivos en un volumen mínimo.



*Figura 4. Bobinas de nido de abeja.*

*Fuente: Disponible en internet.*

*<http://www.cientificosaficionados.com/foros/viewtopic.php?p=52084>*

- **Las bobinas de núcleo toroidal**

Se caracterizan por que el flujo generado no se dispersa hacia el exterior ya que por su forma se crea un flujo magnético cerrado, dotándolas de un gran rendimiento y precisión.



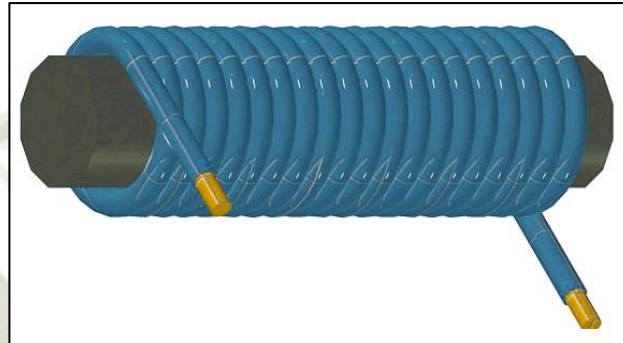
*Figura 5. Bobinas de núcleo toroidal.*

*Fuente: Disponible en Internet. <https://www.magmattec.com.br/es/materiais-magneticos-e-aplicacoes-es/inductores-toroidales-cual-es-el-material-mas-indicado-para-cada-aplicacion>*



- **Las bobinas de ferrita arrolladas sobre núcleo de ferrita**

Normalmente son cilíndricos, con aplicaciones en radio es muy interesante desde el punto de vista práctico ya que, permite emplear el conjunto como antena colocándola directamente en el receptor.



*Figura 6. Bobinas de ferrita arrollada.*

*Fuente: Disponible en internet. <https://www.rolscience.net/2018/12/que-es-el-electromagnetismo.html>*

- **Las bobinas grabadas sobre el cobre.**

Son bobinas grabadas en un circuito impreso, tienen la ventaja de su mínimo coste, pero son difícilmente ajustables mediante núcleo.



*Figura 7. Bobinas grabadas en placas de cobre.*

*Fuente: Disponible en internet: <https://coil32.net/pcb-coil.html>*

### **Bobinas variables.**

También se fabrican bobinas ajustables. Normalmente la variación de inductancia se produce por desplazamiento del núcleo.

Las bobinas blindadas pueden ser variables o fijas, consisten encerrar la bobina dentro de una cubierta metálica cilíndrica o cuadrada, cuya misión es limitar el flujo electromagnético creado por la propia bobina y que puede afectar negativamente a los componentes cercanos a la misma [3].

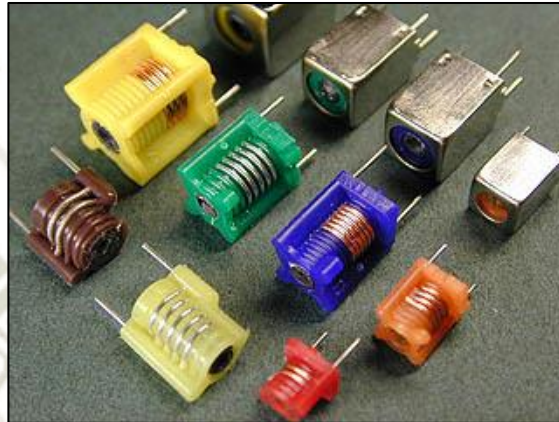


Figura 8. Bobinas variables.

Fuente: disponible en internet. <https://electronicalugo.com/tipos-de-inductores-y-aplicaciones/>

#### Simbología de inductancias variables





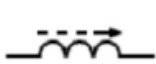

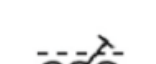


	Inductancia variable		Inductancia variable por pasos
	Inductancia variable con núcleo de ferroxcube		Inductancia variable por escalones
	Inductancia variable con núcleo de ferroxcube		Inductancia de variación continua con núcleo FeSi
	Inductancia ajustable		Inductancia ajustable
	Variómetro		

Tabla 1. Simbología de inductancias variables.

Fuente: Disponible en internet. <https://www.ingmecafenix.com/electronica/bobinas/>

## 2.2. Electricidad inalámbrica.

La electricidad inalámbrica está definida como la transmisión de una fuente de alimentación de energía eléctrica a un dispositivo sin la utilización de cables o conductores eléctricos.

La electricidad es uno de los descubrimientos más importantes de la historia de la Física, y en la actualidad es fundamental la disposición de energía eléctrica para la vida cotidiana y la industria, pero la electricidad ha recorrido un largo camino, siendo moldeado y adaptado para su utilización, por ello, la electricidad ha sido uno de los mayores bienes de la sociedad y la mayor impulsadora del desarrollo científico [4].

Cabe mencionar que el desarrollo de transmisión de energía está en constante avance, y el hombre busca formas más eficaces para la transmisión, ahora las formas de transmisión inalámbrica parecen ser el común denominador.

El concepto de enviar energía sin cables no es nuevo, ya que Nicola Tesla desarrollo un equipo generador de alta frecuencia y alta tensión llamado Bobina de Tesla, con el cual consiguió generar transferencia de energía inalámbrica mediante ondas electromagnéticas [5].

Existen 3 posibles métodos para la transmisión de energía eléctrica de forma inalámbrica. El uso de ondas de radio para transmitir la electricidad es quizás la solución más obvia, ya que se puede utilizar en principio, los mismos tipos de transmisores y receptores utilizados en la comunicación Wi Fi.

Una segunda posibilidad, para dispositivos que requiera más energía, es despedir a un fino rayo láser infrarrojo centrado en una célula fotovoltaica, que convierta el haz de vuelta a la energía eléctrica, pero tiene una gran deficiencia, que mantiene un principio estacionario, el emisor y receptor tienen que estar quietos para la transmisión y si uno se mueve, se pierde la conexión.



La tercera posibilidad para la energía inalámbrica es la inducción magnética. Un campo magnético fluctuante que emana de una bobina puede inducir una corriente eléctrica cerca a otra bobina receptora. El problema es que la eficiencia es buena solo en contacto cercano.

Pero desde hace tiempo se sabe que dicha transferencia de energía mecánica se mejora enormemente si los dos objetos están resonando en la misma frecuencia, lo cual mejora la eficiencia de la inducción magnética a grandes distancias [6].

### **2.3. Campos electromagnéticos.**

Con el termino genérico de electricidad se indica el conjunto de fenómenos físicos en los cuales intervienen cargas eléctricas, las que están en reposo y las que están en movimiento, siendo el caso de las que se encuentran en movimiento los cuales generan fenómenos físicos que son estudiados por el magnetismo, por consiguiente, ambos tipos de fenómenos, eléctricos y magnéticos están interrelacionados y son estudiados de manera conjunta por la teoría electromagnética. [7]

Una de las propiedades del campo electromagnético es transmitir energía a grandes distancias por medio de ondas, en ausencia de cualquier medio material. Esta energía se asocia con el producto vectorial del campo eléctrico y del magnético. Dicho producto se denomina vector de pointing, y representa la densidad de flujo de energía de una onda electromagnética por unidad de tiempo [8].

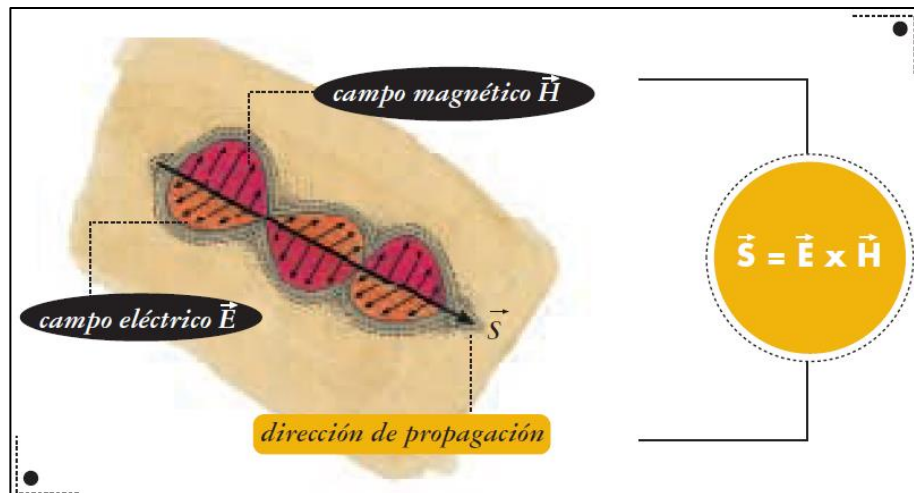


Figura 9. Vector de Pointing "S".

Fuente: Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz. (2001).

### 2.3.1. Electromagnetismo.

Fuente: Héctor Osorio Martínez. *TEORIA ELECTRO MAGNÉTICA* [9].

El electromagnetismo es una rama de la física que estudia conjuntamente los fenómenos eléctricos y magnéticos. Ambos fenómenos son descritos por una sola teoría cuyos fundamentos fueron sentados por Faraday y formulados completamente por James Clerk Maxwell.

La relación de los campos eléctricos y magnéticos con las fuentes de carga y de corriente que los crean, vienen determinadas por las relaciones conocidas como ecuaciones de Maxwell que son las siguientes:

- **Ley de Gauss para la electricidad.**

Esta es la primera de las cuatro ecuaciones de Maxwell. Ella relaciona los campos eléctricos y sus fuentes, las cargas eléctricas, y puede ser aplicado incluso para los campos eléctricos variables con el tiempo.

- **Ley de Gauss para el magnetismo.**

Esta ley es equivalente a la primera, pero aplicable a los campos magnéticos y que aún conserva la no existencia de monopolos magnéticos (no existe

polo sur o polo norte aislado). De acuerdo con esa ley, las líneas de campo magnético son continuas, al contrario de las líneas de fuerza de un campo eléctrico que se originan en cargas eléctricas positivas y terminan en cargas eléctricas negativas.

- **Ley de Ampere.**

La ley de Ampere describe la relación entre un campo magnético y la corriente eléctrica que se origina. Ella establece que un campo magnético es siempre producido por una corriente eléctrica o por un campo eléctrico variable. Esa segunda manera de obtener un campo magnético fue prevista por el propio Maxwell, con base en la simetría de naturaleza: si un campo magnético variable induce una corriente eléctrica, y consecuentemente un campo eléctrico, entonces un campo eléctrico variable debe inducir un campo magnético.

- **Ley de Faraday.**

La cuarta parte de las ecuaciones de Maxwell describen las características del campo eléctrico que causa un flujo magnético variable. Los campos magnéticos derivados son variables en el tiempo, generando así campos eléctricos de tipo rotacional.

Unidades de las ecuaciones de Maxwell

$\vec{E}$	Campo eléctrico	Voltios/m
$\vec{H}$	Intensidad del campo magnético	Amperios/m
$\vec{D}$	Desplazamiento del campo eléctrico	Culombios/m <sup>2</sup>
$\vec{B}$	Flujo del campo magnético	Weber/m <sup>2</sup> =tesla
$\vec{J}$	Densidad de corriente	Amperios/m <sup>2</sup>
$\rho$	Densidad de carga	Culombios/m <sup>3</sup>



Nombre	Ecuación diferencia	Ecuación integral	Describe	Experimento crucial
Ley de Gauss para la electricidad.	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = q$	La carga y el campo de la electricidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al igual que las cargas se repelen y a diferencia de las cargas se atraen, como el cuadrado inverso de su separación.</li> <li>• Una carga en un conductor aislado se mueve a su superficie externa.</li> </ul>
Ley de Gauss para el magnetismo.	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	El campo magnético.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es imposible crear un polo magnético aislado.</li> </ul>
Ley de Ampere	$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$	El efecto magnético de un campo eléctrico de carga o de una corriente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocidad de la luz se puede calcular a partir de mediciones puramente electromagnéticas.</li> <li>• Una corriente en un cable establece un campo magnético alrededor del cable.</li> </ul>
Ley de Faraday	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$	El efecto eléctrico de un campo magnético de carga.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un imán empujado a través de múltiples espiras de cables, generaran una corriente en el circuito.</li> </ul>

Tabla 2. Ecuaciones de Maxwell.  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Inducción electromagnética.

La Inducción electromagnética fue descubierta por Faraday, es un fenómeno que refleja la íntima relación entre la electricidad y el magnetismo y que se halla muy presente en nuestras vidas. Su funcionamiento es el siguiente:

Supongamos que tenemos un cable conductor por el que hacemos pasar una corriente eléctrica, debido al paso de cargas en movimiento se crea alrededor de dicho cable un campo magnético que inunda todo el espacio próximo. Si en lugar de un cable recto tenemos un cable enrollado muchas veces (bobina) el campo magnético creado será superior, e incluso más intenso cuanto más vueltas tenga el cable.

Si ahora acercamos lo suficiente una segunda bobina para que quede inmersa en dicho campo magnético, observaremos que se genera en ella una corriente eléctrica. Es decir, la bobina primaria ha inducido corriente eléctrica en la bobina secundaria sin necesidad de que esta esté conectada a ningún cable [10].

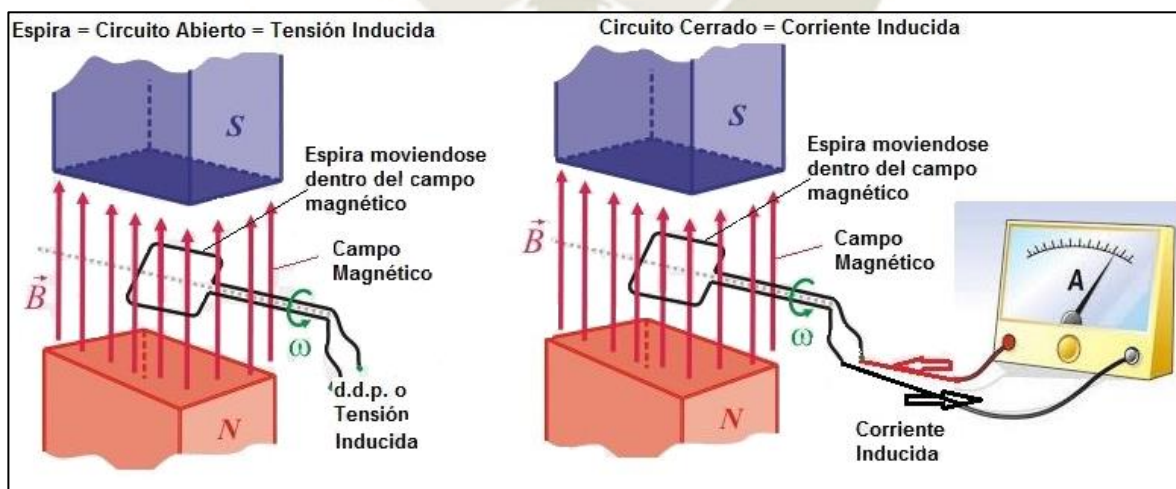


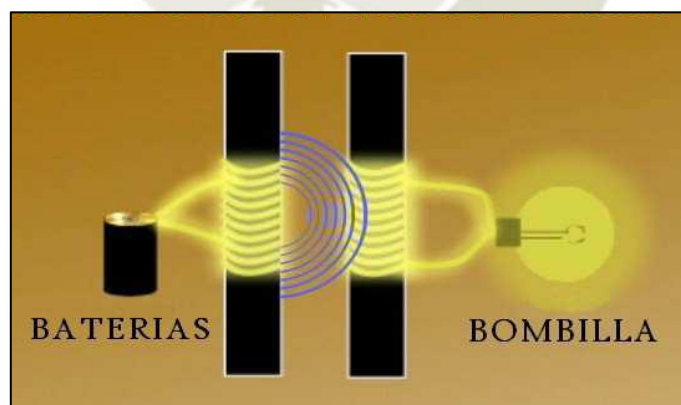
Figura 10. Inducción Electromagnética.

Fuente: Disponible en internet. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/induccionelectrica-electromagnetica.html>

#### 2.4. Inducción magnética o inducción de campo cercano.

La inducción magnética o la inducción de campo magnético está dada en la teoría de campos magnéticos, que indica que es una fuerza que aparece entre corrientes eléctricas. Los campos magnéticos son producidos por cargas en movimiento, es decir por una corriente eléctrica. Así pues, el campo eléctrico existe cuando hay cargas eléctricas mientras que solo hay campos magnéticos cuando estas cargas están en movimiento, es decir cuando hay flujo de corriente eléctrica. Ambos campos, el eléctrico y el magnético disminuyen de intensidad rápidamente cuando aumenta la distancia respecto a la fuente que lo genera. Se hace más habitual representar el campo magnético mediante la inducción magnética o densidad de flujo magnético.

Entonces la inducción magnética es el proceso mediante el cual campos magnéticos generan campos eléctricos. En la siguiente figura, vemos que, al generarse un campo eléctrico en un material conductor, los portadores de carga se verán sometidos a una fuerza y se inducirá una corriente eléctrica en el conductor para encender una bombilla [11].



*Figura 11. Demostración de Inducción Magnética.*

*Fuente: Electricidad inalámbrica-Universidad Tecnológica de Pereira (2010).*



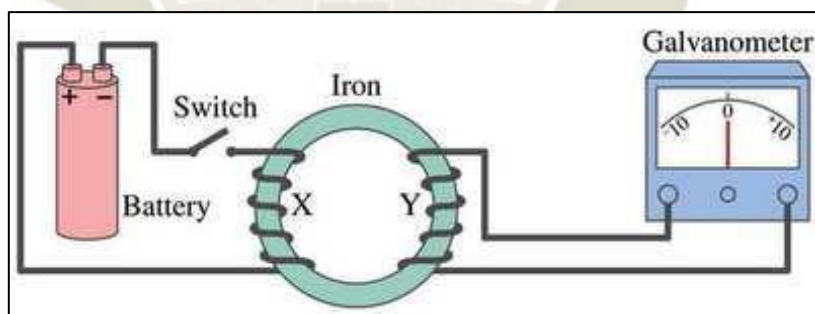
#### 2.4.1. Transferencia de energía inalámbrica por inducción magnética.

Cuando decimos que un campo magnético genera una corriente eléctrica en un conductor, nos referimos a que aparece una f.e.m. (f.e.m. inducida) de modo que las cargas del conductor se mueven generando una corriente (corriente inducida).

La fuente principal de producción de electricidad, al menos a escala industrial, está basada en la inducción electromagnética que refiere que, si la electricidad produce magnetismo, éste a su vez, generará electricidad.

Con relación a la Figura 12, se observa que cuando se apaga la corriente en *X*, el galvanómetro conectado a la bobina *Y*, se detecta el pulso de corriente.

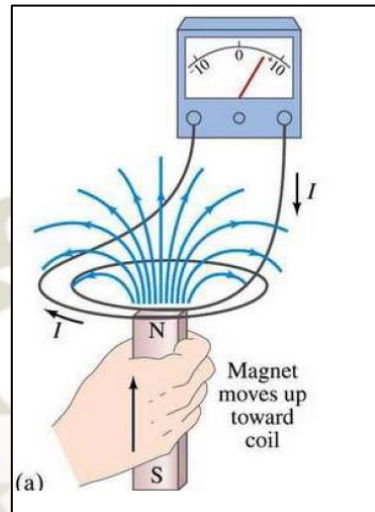
También se observa que el paso de corriente de manera continua por *X* no producía ninguna corriente en *Y*. entonces solo se produce corriente en *Y* cuando se inicia o cesa la corriente en *X*.



*Figura 12. Transferencia de Energía por Inducción Magnética.*

*Fuente: Electricidad inalámbrica-Universidad Tecnológica de Pereira (2010).*

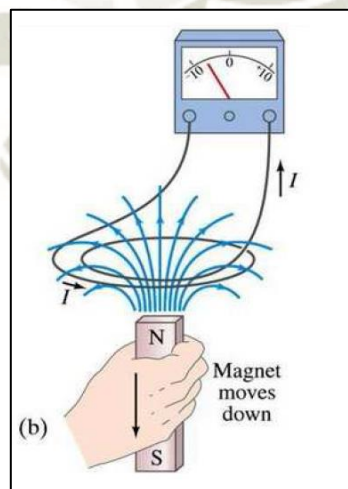
Para demostrar la generación de campo magnético se introduce un imán dentro de una bobina como se muestra en la Figura 13, entonces se produce una corriente transitoria.



*Figura 13. Generación de Campo magnético 1.*

*Fuente: Electricidad inalámbrica-Universidad Tecnológica de Pereira (2010).*

Inversamente si en vez de ingresar el imán al bobinado, este se saca, se produce una corriente como se muestra en la Figura 14, pero esta vez de sentido contrario al obtenido en la figura anterior.



*Figura 14. Generación de Campo magnético 2.*

*Fuente: Electricidad inalámbrica-Universidad Tecnológica de Pereira (2010).*

Si el imán permanece dentro de la bobina sin moverse como se muestra en la Figura 15, no se produce corriente en la bobina.

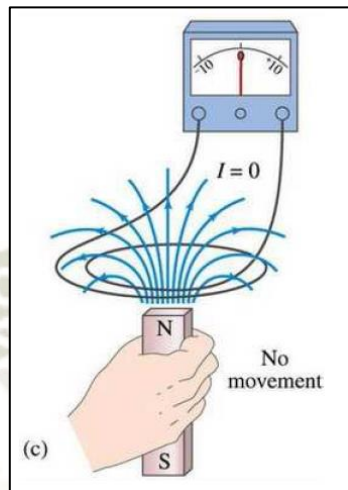


Figura 15. Generación Nula.

Fuente: *Electricidad inalámbrica-Universidad Tecnológica de Pereira (2010).*

Resultaba claro que para producir una corriente el imán tiene que moverse en relación a la bobina. Por lo que se llega a la conclusión de que sólo una variación del flujo del campo magnético con respecto al tiempo genera corriente eléctrica, bien moviendo físicamente un imán o cerrando e iniciando la corriente eléctrica de un solenoide [12].

## 2.5. Resonancia.

La resonancia es un fenómeno físico inherente a todos los cuerpos que conocemos, por el cual todos tienden a vibrar preferiblemente a una determinada frecuencia cuando son excitadas externamente.

La frecuencia de resonancia depende de la masa y de la elasticidad del cuerpo que estemos tratando de mover, por lo tanto, cada cuerpo tiene su propia frecuencia.

La frecuencia a la que vibra un objeto cuando le damos un toque se llama su frecuencia natural de vibración, pero cuando se obtiene la frecuencia de resonancia ideal, la vibración del objeto es más energética, de más potencia, de mayor amplitud

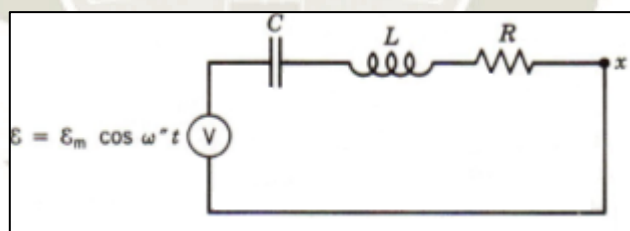


y de mayor facilidad para que un agente externo pueda hacerlo vibrar. Estas consideraciones son universales y aplicables a todo tipo de resonancias (acústica, mecánica, electromagnética, etc.) [13].

### 2.5.1. Resonancia de circuito oscilatorio forzado o circuito resonante.

El comportamiento de los circuitos oscilatorios forzados o circuitos resonantes es el fenómeno físico en el cual se basa la detección de posibles receptores sobre la superficie de carga. Para la comprensión de este proceso resulta fundamental observar el comportamiento de estos sistemas a frecuencias cercanas a la frecuencia de resonancia, y el comportamiento de sistemas de características similares con distinta impedancia.

A estos efectos, se presenta en la Figura 17, una descripción gráfica de sistemas de este tipo y su respuesta en corriente frente a cambios en la frecuencia y la carga para un circuito resonante como el que se muestra en la Figura 16 [14].



*Figura 16. Comportamiento en Circuito Resonante RLC.*

*Fuente: Wireless Qi Charger – Instituto de Ingeniería Eléctrica-Uruguay (2015).*

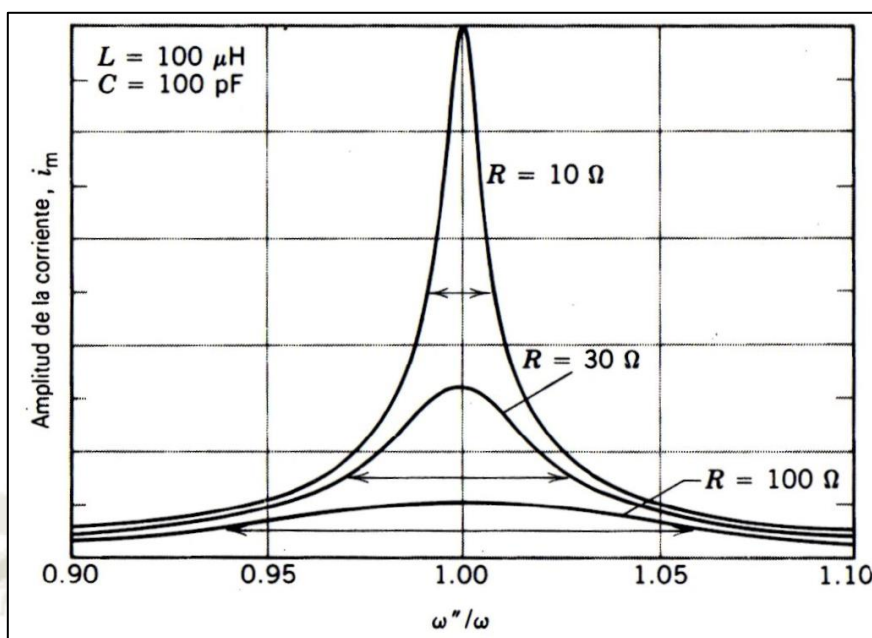


Figura 17. Respuesta en Corriente Frente a Cambios de Frecuencia.  
Fuente: Wireless Qi Charger – Instituto de Ingeniería Eléctrica-Uruguay (2015).

## 2.6. Acoplamiento resonante inductivo de campo cercano.

El acoplamiento inductivo es la transmisión inalámbrica de campo cercano de la energía eléctrica entre dos bobinas que están sintonizadas para resonar a la misma frecuencia, usando campos magnéticos que son una parte natural de la corriente que circula por un cable. Esto está soportado por las Leyes de Maxwell, las cuales describen por completo los fenómenos electromagnéticos.

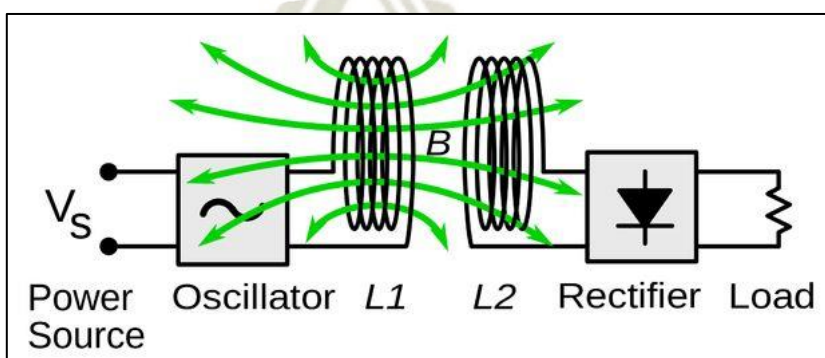


Figura 18. Acoplamiento resonante entre dos bobinas.

Fuente: Disponible en internet.

<https://www.wikiwand.com/es/Transmisi%C3%B3n%20inal%C3%A1mbrica%20de%20energ%C3%ADa>

Siempre que una corriente eléctrica se desplaza por un cable, crea este un campo magnético alrededor del cable, tal como lo estipula la Ley de Ampere, la cual hace mención a que un campo magnético es generado por una corriente estacionaria, que eventualmente si se varía el campo magnético inducirá una corriente en una segunda bobina, tal como lo explica la Ley de Faraday [15].

### **2.6.1. Clasificación de acoplamientos inductivos.**

Para proporcionar una transferencia inalámbrica de energía de campo cercano, se pueden usar dos tipos de procesos de acoplamiento inductivo: el acoplamiento inductivo estándar y el acoplamiento inductivo resonante. Generalmente, el acoplamiento inductivo estándar es mucho menos eficiente, pues solo es viable en una distancia de comunicación relativamente corta ya que la mayor parte del flujo magnético no está vinculado entre las bobinas y los campos magnéticos decaen rápidamente. La versión de acoplamiento inductivo resonante, ofrece una eficiencia mayor (hasta el 95%) y es efectiva en distancias relativamente más grandes, como unos cuantos metros, ya que el uso de bobinas resonantes reduce notablemente la pérdida de energía, permitiendo que esta se transfiera entre las bobinas [15].

#### **Acoplamiento inductivo estándar.**

El acoplamiento inductivo estándar utiliza dos conductores que se consideran mutuamente acoplados inductivamente o acoplados magnéticamente cuando se configuran para utilizar la inducción electromagnética, es decir, un cambio en el flujo de corriente por un cable induce un voltaje por los extremos del otro cable. El nivel de acoplamiento inducido entre los conductores es su inductancia mutua. Bobinando los cables en las bobinas y colocándolos muy juntos en un eje común, de modo que el campo magnético de una bobina pase a través de la otra, se puede



aumentar el acoplamiento. Esta forma de acoplamiento inductivo es eficaz para ser usada en fuentes de energía de baja frecuencia a intervalos cortos.

La interconexión inalámbrica mediante acoplamiento inductivo estándar tiene las ventajas de lograr un alto rendimiento a baja potencia con un tamaño pequeño [15].

### **Acoplamiento inductivo resonante.**

La resonancia se utiliza para aumentar la distancia sobre la cual puede tener lugar la transferencia eficiente de electricidad. Sobre un rango medio, la transmisión inalámbrica de energía eléctrica en campo cercano se puede producir utilizando el acoplamiento inductivo resonante, que utiliza de manera similar una estructura de dos bobinas. Sin embargo, ahora las bobinas se ajustan para que resuenen en la misma frecuencia, produciendo un transformador de resonancia con un valor  $Q$  elevado. La electricidad se transmite entre las dos bobinas resonantes. Al emplear en un "anillo" de bobina con una corriente oscilante, se genera un campo magnético oscilante. Como la bobina es muy resonante, la energía en la bobina presenta un decremento de forma relativamente lenta. Sin embargo, colocando una segunda bobina cerca de la primera, la mayor parte de la energía se transfiere a la segunda bobina antes de que llegue a perderse. Esto puede ocurrir incluso si las bobinas se colocan a cierta distancia entre sí [15].

#### **2.6.2. Frecuencia de resonancia.**

La frecuencia de resonancia en un circuito LC (inductivo, capacitivo), está dada cuando dicho circuito tiene una oscilación natural, o bien, en una frecuencia forzada (inyectada), que debe ser igual a la frecuencia natural. En esta frecuencia se alcanza el punto máximo de amplitud en voltaje debido a que el circuito tiene una impedancia " $Z$ " mínima, que es igual a la resistencia

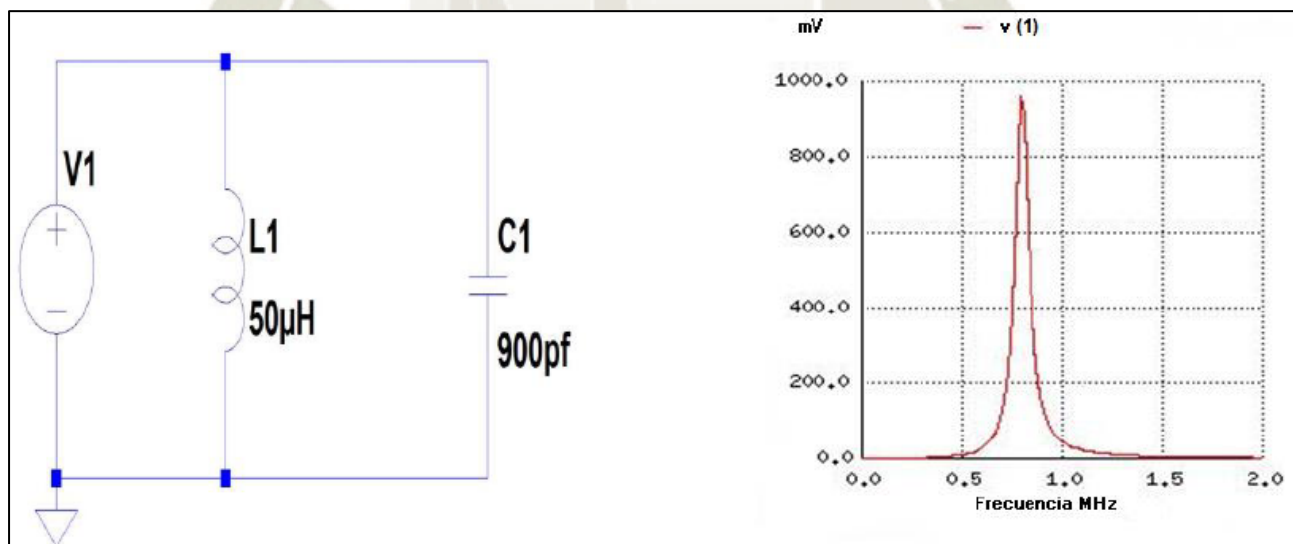
Óhmica para esta frecuencia, la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva son iguales, lo cual el circuito se encuentra en fase, esto quiere decir que el voltaje y la corriente no tienen ningún desfase en la frecuencia.

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - Xc)^2}$$

$$XL = Xc$$

$$Z = \sqrt{R^2} = R$$

La frecuencia de resonancia de un circuito LC se puede medir aplicando un barrido de frecuencia y graficando la amplitud de voltaje contra el incremento de dicha frecuencia, donde se obtiene una gráfica como se muestra en la Figura 19.



*Figura 19. Frecuencia de resonancia en un circuito LC*

*Fuente: Experimento de transferencia inalámbrica de energía con receptor portable - Universidad Veracruzana (2013).*

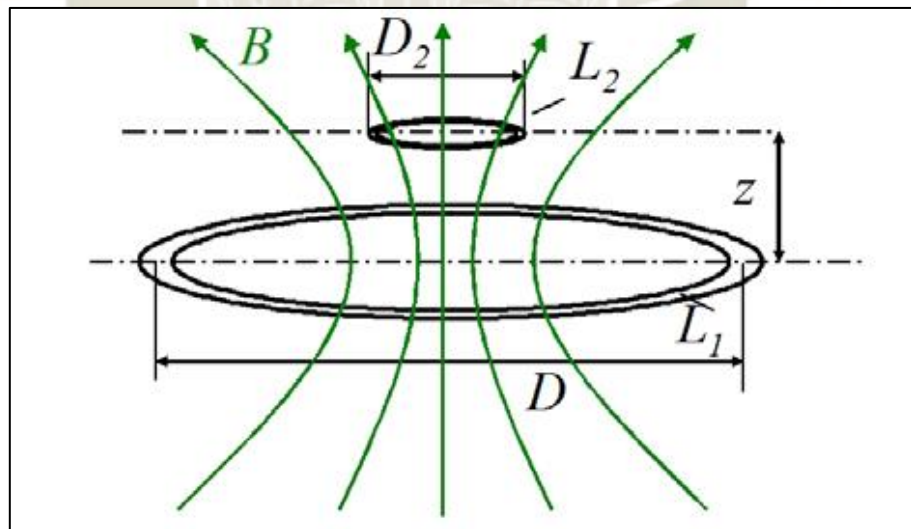
La frecuencia de resonancia de un circuito LC se puede determinar mediante el valor de la capacitancia y el valor de la inductancia con la siguiente formula.

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Esta fórmula representa que la reactancia inductiva y reactancia capacitiva son iguales lo cual hace que el circuito LC comience a resonar. La impedancia es la mínima correspondiente a la resistencia óhmica de la reactancia capacitiva y la inductiva [15].

### 2.6.3. Principios básicos de la transmisión de energía por acoplamiento magnético.

El principio básico de un sistema de transferencia de energía por inducción magnética se muestra en la Figura 20:



*Figura 20. Transferencia de campos magnéticos entre bobinas*  
*Fuente: Wireless Qi Charger – Instituto de Ingeniería Eléctrica-Uruguay (2015).*



Consta de una bobina transmisora  **$L1$**  y una bobina receptora  **$L2$** . Ambos anillos forman un sistema de bobinas acopladas magnéticamente. Una fuente de alimentación eléctrica conectada a la bobina transmisora  **$L1$**  que genera un campo magnético que induce un voltaje a la bobina receptora  **$L2$** . Este voltaje se puede utilizar para alimentar un dispositivo externo conectado a la bobina receptora.

La eficiencia de la transferencia de energía depende del factor de acoplamiento ( **$k$** ) entre los inductores y de la calidad del acoplamiento ( **$Q$** ). El factor acoplamiento se determina por la distancia entre los inductores ( **$z$** ) y el tamaño relativo del anillo ( **$D2/D$** ). La calidad del acoplamiento está más determinada por la forma de las bobinas y el ángulo de incidencia entre ellas [16].

#### **2.6.4. Eficiencia de transferencia de un acoplamiento resonante**

Un factor fundamental en la transmisión inalámbrica de energía es la eficiencia. Para que el sistema sea eficaz, una gran proporción de la energía transmitida por el generador debe llegar al receptor.

La Figura 21 muestra un cálculo del rendimiento óptimo de un sistema como el de la Figura 20, con la hipótesis del mejor factor de calidad de acoplamiento posible (anillos de formas semejantes y paralelos).

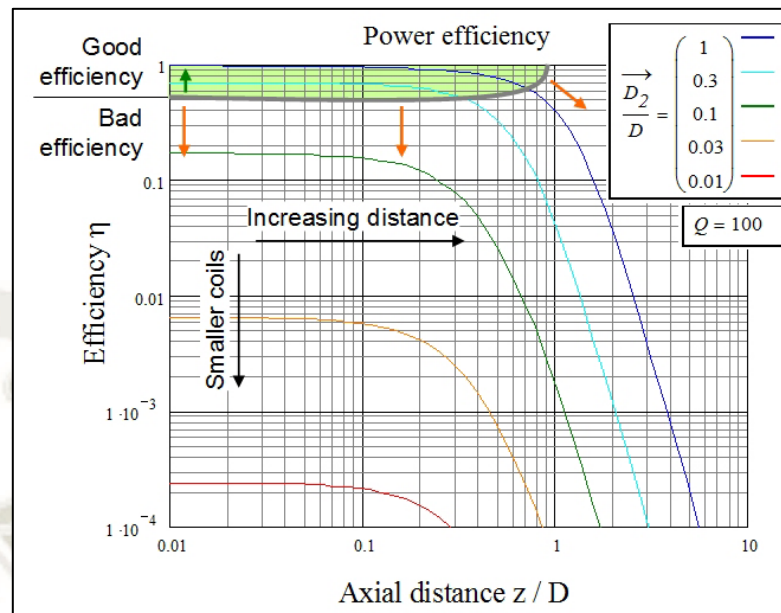


Figura 21. Gráfico que muestra la eficiencia del sistema en función de la dependencia entre la distancia entre bobinas ( $z$ ) y su diámetro de circunferencia ( $D$ )

Fuente: Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo – Escuela Politécnica Superior De Edificación De Barcelona.

Todas las dimensiones están referidas al diámetro de la bobina mayor  $D$ , ya sea esta la transmisora o la receptora. Los valores se muestran como una función de la distancia axial entre las bobinas ( $z / D$ ). El parámetro es el diámetro de la bobina  $D_2$  más pequeños.

La figura muestra que:

- La eficiencia disminuye de forma dramática con una mayor separación de las bobinas ( $z/D > 1$ ) o con una mayor diferencia de diámetro entre bobinas ( $D_2/D < 0.3$ )
- La mayor eficiencia ( $> 90\%$ ) se consigue cuando las bobinas están más cerca ( $z/D < 0.1$ ) y cuando sus anillos son de diámetros similares ( $D_2/D = 0.5 - 1$ )

Esto demuestra que la transmisión de energía inductiva a una gran distancia es muy ineficiente. Como muestra el gráfico, la transmisión de energía por inducción magnética tan solo es óptima para sistemas con anillos en proximidad [16].

#### 2.6.5. Factor de acoplamiento.

Si el anillo receptor está a una cierta distancia del anillo transmisor, solo una cierta parte del flujo magnético generado por el anillo transmisor, penetra en el receptor para generar transmisión de electricidad. Cuanto mayor flujo magnético alcance al receptor, mejor será el acoplamiento entre los anillos. El grado de acoplamiento se expresa con el factor de acoplamiento  $k$ .

El factor de acoplamiento  $k$  es un valor comprendido entre 0 y 1. El valor 1 representa el acoplamiento perfecto, en el cual todo el flujo magnético generado en el transmisor es captado por el receptor. El valor 0 representa a un sistema en el que los anillos son completamente independientes.

El factor de acoplamiento está determinado por la relación entre la distancia entre los anillos inductores y su tamaño relativo. La alineación entre los ejes de los anillos, también será determinante para este factor.

Si los anillos están alineados en su eje, su desplazamiento lateral provoca una disminución de  $k$ .

La Figura 22 muestra el valor de  $k$  para un modelo de anillos de 30mm de diámetro, con los resultados de  $k$  en desalineaciones de los anillos respecto al eje, representados en las abscisas, y con los resultados de  $k$  en separaciones de los anillos en su eje, representados en las ordenadas. Un factor de acoplamiento en el rango de 0.3 hasta 0.6 es bastante habitual. El mejor



acoplamiento se produce cuando los anillos están casi tocándose y completamente alineados.

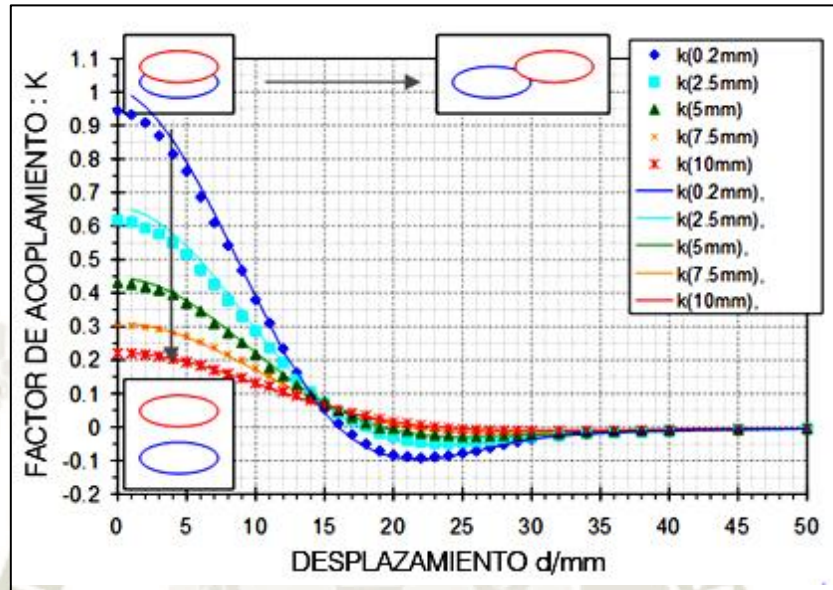


Figura 22. Gráfica que muestra el valor del acoplamiento en función de la distancia y la desalineación de los anillos.

Fuente: Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo – Escuela Politécnica Superior De Edificación De Barcelona.

La fórmula para obtener el factor k es la siguiente:

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} \cdot L_{22}}}$$

Es el resultado de la ecuación general para los sistemas de inductores acoplados:

$$\frac{U_1}{j \cdot \omega} = L_{11} \cdot I_1 + L_{12} \cdot I_2$$

$$\frac{U_2}{j \cdot \omega} = L_{12} \cdot I_1 + L_{22} \cdot I_2$$

Donde:

- $U_1$  y  $U_2$  son los voltajes aplicados a los anillos
- $I_1$  y  $I_2$  son las corrientes en los anillos
- $L_1$  y  $L_2$  son las inductancias
- $L_{12}$  y  $L_{22}$  son valor de acoplamiento inductivo
- $\omega = 2\pi f$  es la frecuencia circular.

El factor de acoplamiento puede se puede medir en un sistema existente como el voltaje del circuito abierto en relación a valor  $U$ :

$$u = \frac{U_2}{U_1} = k \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

Si los dos anillos tienen el mismo valor de inductancia, el voltaje medido en el anillo  $U$  es igual al factor  $k$  [16].

## 2.7. Instrumentación inductiva y magnética.

### 2.7.1. Sensores inductivos.

Los sensores de proximidad inductivos incorporan una bobina electromagnética la cual es usada para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Este tipo de sensor ignora objetos no metálicos.

Los sensores de proximidad inductivos aplican la detección sin contacto, no existe energía mecánica que haga que el sensor cambie de estado, el sensor de proximidad solo depende de la energía eléctrica para que cambie de estado.

### Características de los sensores inductivos.

- Detección de objetos metálicos.
- Medidas todo o nada.

- Alcance máximo de detección, desde algunos mm a varios de cm.
- Pueden manejar una carga tipo relé.
- Los detectores de proximidad son dispositivos que detectan una distancia crítica y la señalizan mediante una salida del tipo todo-nada.
- Los detectores de proximidad inductivos son muy empleados en aplicaciones industriales para la detección de objetos metálicos.

### **Ventajas y desventajas de los sensores inductivos.**

#### **Ventajas:**

- No entra en contacto directo con el objeto a detectar.
- No se desgastan.
- Tienen un tiempo de reacción muy reducido.
- Tiempo de vida largo e independiente del número de detecciones.
- Son insensibles al polvo y humedad.

#### **Desventajas:**

- Solo detectan presencia de objetos metálicos.
- Pueden verse afectados por campos electromagnéticos intensos.
- El margen de operación es muy corto en comparación con otros sensores.

### **Principios de operación de los sensores de proximidad inductivos.**

Los sensores inductivos de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.



El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor del nivel de disparo de la señal y un circuito de salida.

Al introducir un objeto metálico en el campo, se inducen corrientes de histéresis en el objeto, una corriente oscilante fluye a través de la bobina e irradia un campo electromagnético desde la cara activa del sensor. El núcleo de ferrita dirige y le da forma a este campo. El núcleo asegura que el campo esté presente solamente en su cara frontal. Cuando un conductor eléctrico o un objetivo metálico entran al campo electromagnético, se extraen corrientes parásitas del oscilador y se inducen al objetivo.

El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido a la posición “ON” (Encendido) y “OFF” (Apagado) [17].

#### **2.7.2. Sensores magnéticos.**

Los sensores magnéticos detectan una variación en el campo magnético en respuesta a la variación de alguna magnitud física. Se caracterizan principalmente por ser dispositivos de estado sólido, no tener partes móviles, compatibilidad con otros circuitos analógicos y digitales, margen de temperatura amplio, buena repetitividad y frecuencia de funcionamiento relativamente alta (100 kHz).

El principio de funcionamiento se basa en el efecto que produce el cambio de corriente brusco dentro de su campo magnético.

Se utilizan principalmente como sensores de posición, velocidad y corriente eléctrica. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto [18].

## 2.8. Fajas transportadoras.

Una faja transportadora, cinta transportadora o transportador de banda es un sistema de transporte continuo, muy utilizado principalmente en la distribución y transporte de material, estas fajas trabajan mutuamente con equipos eléctricos y controladores, lo cual conlleva a un trabajo eficiente.

Actualmente las cintas o fajas transportadoras desempeñan un rol muy importante dentro de los procesos industriales que es la movilización de material, ya sea materia prima o producto terminado y además se adaptan a diferentes superficies, además es un sistema que minimiza el trabajo y permite que grandes volúmenes sean movidos rápidamente.

El procesamiento de productos, sea cual sea su naturaleza están sujetos a diferentes movimientos, ya sean en sentido vertical, horizontal e inclinados por lo cual las fajas transportadoras fueron diseñadas para cumplir con este objetivo.

### 2.8.1. Ventajas y desventajas de fajas transportadoras.

#### **Ventajas**

- Permiten el transporte de materiales a larga distancia.
- Se adaptan a cualquier tipo de terreno.
- Tienen una gran capacidad de transporte.
- Permiten transportar una gran variedad de materiales.
- Es posible la carga y la descarga en cualquier punto del recorrido.
- No altera el producto transportado.
- Aumenta la cantidad de producción.
- Ausencia de articulaciones de rápido desgaste.
- Ambientales y de seguridad.
- Son generalmente mecanizados y a veces automatizados.
- Pueden estar montados sobre el suelo o suspendidos del techo.

### Desventajas

- Dependen de motores, el depender de motores indica que si no hay electricidad se hará difícil su funcionamiento.
- Reduce la actividad humana
- Casi siempre están limitados a un flujo unidireccional de materiales [19].

### 2.8.2. Tipos de fajas transportadoras.

En el siguiente ítem solo se hablará de la faja **BELT CONVEYOR**, ya que el proyecto está orientado a la utilización de sensores en este tipo de fajas, las otras fajas solo serán enumeradas.

A continuación, mencionamos otras fajas transportadoras en industria:

- Fajas con rodillos (Roller Conveyors)
- Fajas con ruedas (Skate-wheel Conveyors)
- Fajas con cadenas (Chain conveyors)
- Fajas con listones (Slat conveyors)
- Fajas aéreas de carros (Overhead trolley conveyors)
- Fajas por cable enterrado (In-floor towline conveyors)
- Fajas de carro sobre raíles (Cart-on-track)

### Fajas planas (Belt conveyors)

Este tipo está disponible en dos formatos comunes: fajas planas para pallets, piezas o incluso ciertos tipos de materiales en masa; y fajas huecas para materiales en masa. Los materiales se sitúan en la superficie de la faja y viajan a lo largo del recorrido de la misma. La faja forma un lazo continuo de manera que una mitad de su longitud puede emplearse para el reparto del material y la otra mitad para el retorno (generalmente vacío). La faja se soporta con un armazón con rodillos u otros soportes espaciados entre sí varios decímetros. A cada extremo de la faja están los rodillos motores (“poleas”) que impulsan la faja [20].



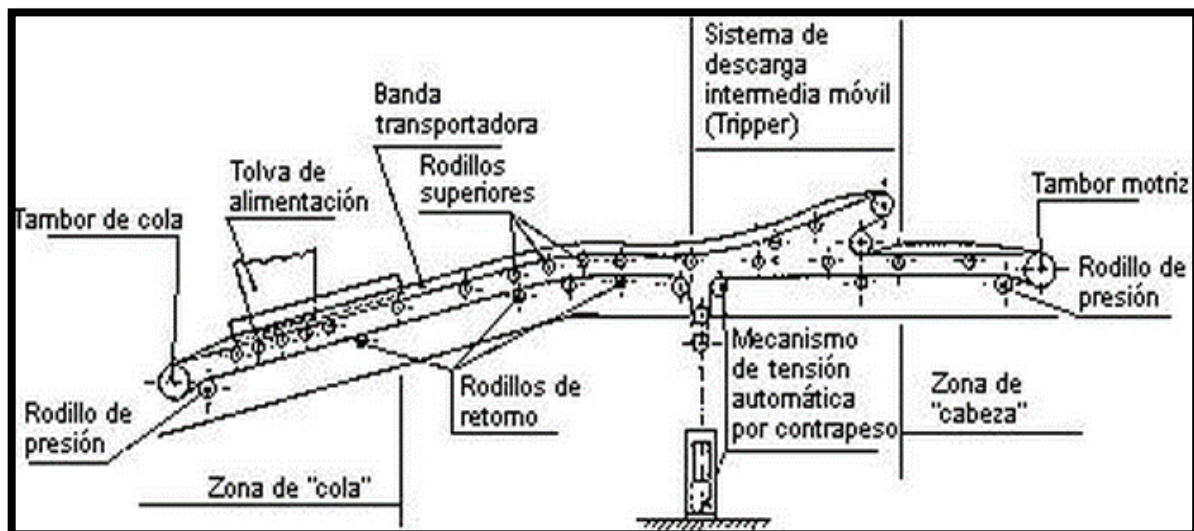


*Figura 23. Fajas planas (Belt conveyors)*

*Fuente: Cintas transportadoras en automatización de la producción. Fabio Gomez-Estern*

### 2.8.3. Elementos de una faja transportadora tipo Belt Conveyor.

A grandes rasgos a continuación mostramos en la Figura 24 los principales elementos mecánicos de una faja transportadora.



*Figura 24. Elementos de una faja transportadora.*

*Fuente: Artículo-Guía de buenas prácticas de PRL en el sector cementero español, sección cintas transportadoras.*

No obstante, una parte muy importante del proceso de fajas transportadoras son las protecciones propias en toda la extensión del proceso.

### 2.8.4. Equipos de protección y automatización en fajas transportadoras tipo Belt Conveyor.

Estos equipos, sensores o transmisores son utilizados para garantizar la seguridad de la operación, prevención de accidentes, ahorrar los costos de funcionamiento y lo más fundamenta que es la protección personal.

En la Figura 25 mostramos los sensores equipados en un proceso de faja transportadora tipo belt conveyor.

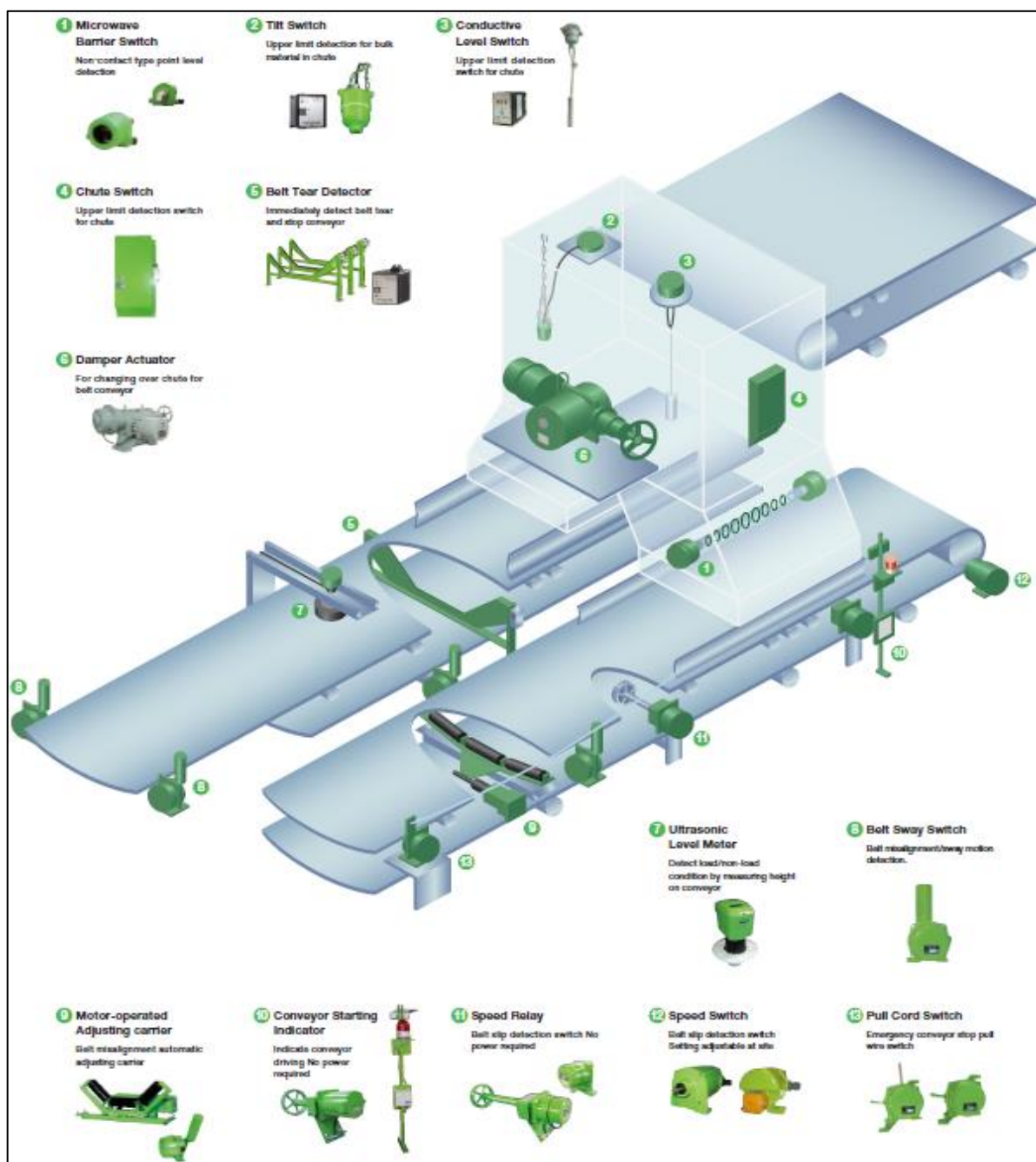


Figura 25. Equipos de protección en una faja transportadora.

Fuente: Flyer Belt Conveyor Protection & Automation, MATSUSHIMA Machinery Laboratory.



## CAPÍTULO III INGENIERÍA DE DETALLE

### 3. DISEÑO DEL HARDWARE.

En este capítulo se describe el proceso de diseño y construcción de los diferentes circuitos que conforman cada etapa del sensor de campo magnético, así como también su operación y funcionamiento.

#### 3.1. Diagrama de bloques general.



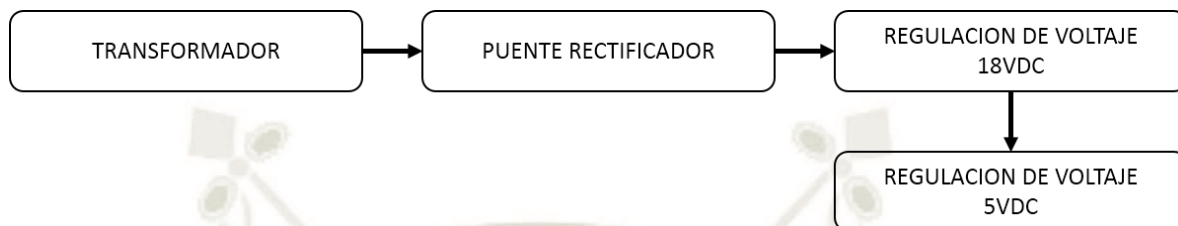
*Figura 26. Diagrama de bloques del sensor magnético.*

*Fuente: elaboración propia.*

### 3.2. Etapa de alimentación.

#### 3.2.1. Circuito rectificador VAC – VDC.

##### Diagrama de bloques etapa de alimentación.



*Figura 27. Diagrama de bloques circuito rectificador.*

*Fuente: elaboración propia.*

##### Funcionamiento.

Esta etapa del sensor se evoca específicamente a generar el voltaje continuo necesario para el funcionamiento del sensor, el cual será alimentado por 220 VAC y luego de rectificar y regular se obtiene voltajes de 18 y 5 VDC, los cuales son necesarios para alimentar distintas etapas del sensor.

##### Especificaciones técnicas del circuito.

- Voltaje de entrada: 220 VAC.
- Voltaje de salida: 18 y 5 VDC.
- Frecuencia de entrada: 60 Hz.

##### Transformador.

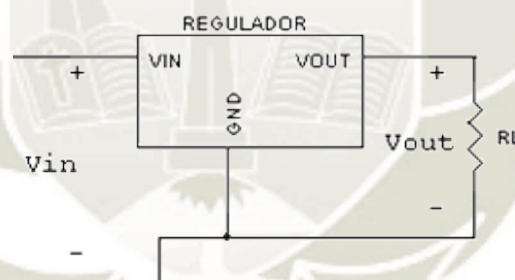
Este elemento eléctrico nos permite disminuir la energía eléctrica de la red de 220 VAC a una tensión de 15VAC por medio de bobinados, idealmente la potencia de entrada es la misma que la potencia de salida, pero realmente siempre existe una pérdida dependiendo del diseño.

### **Puente rectificador.**

El puente rectificador o puente de diodos es un dispositivo electrónico usado para la conversión de corriente alterna en corriente continua, el puente rectificador es alimentado por la entrada con corriente alterna y genera una señal continua a su salida, sin embargo se produce un rizado ya que no rectifica completamente la señal alterna, para obtener una señal más perfecta se tiene que adicionar un filtro que corrija el rizado, este filtro usualmente es un condensador electrolítico el cual en el momento de bajada produce un voltaje de realimentación.

### **Regulador de voltaje**

Es un dispositivo electrónico, diseñado para mantener un nivel de tensión constante sin importar que se conecte a su entrada o salida. En el caso de nuestro circuito necesitaremos regular voltajes de 18 VDC y 5VDC.



*Figura 28. Regulador de 3 terminales.  
Fuente: Elaboración Propia.*

El funcionamiento de un regulador es el siguiente:

- La tensión de salida  $V_{out}$  es de un valor fijo, el cual es invariable dependiendo al componente usado.
- La corriente en GND es prácticamente cero y sirve solo como referencia del regulador de voltaje, esto quiere decir que no afecta sustancialmente en el voltaje de salida.
- La tensión de entrada  $V_{in}$  siempre debe ser superior al voltaje de salida  $V_{out}$ , por lo menos en 2 a 3 voltios.



Para nuestro caso tendremos que utilizar reguladores en cascada y en paralelo para abastecer una posible subida de corriente al momento de generar el campo magnético.

A continuación, mostramos la configuración usada para el sensor de campo magnético.

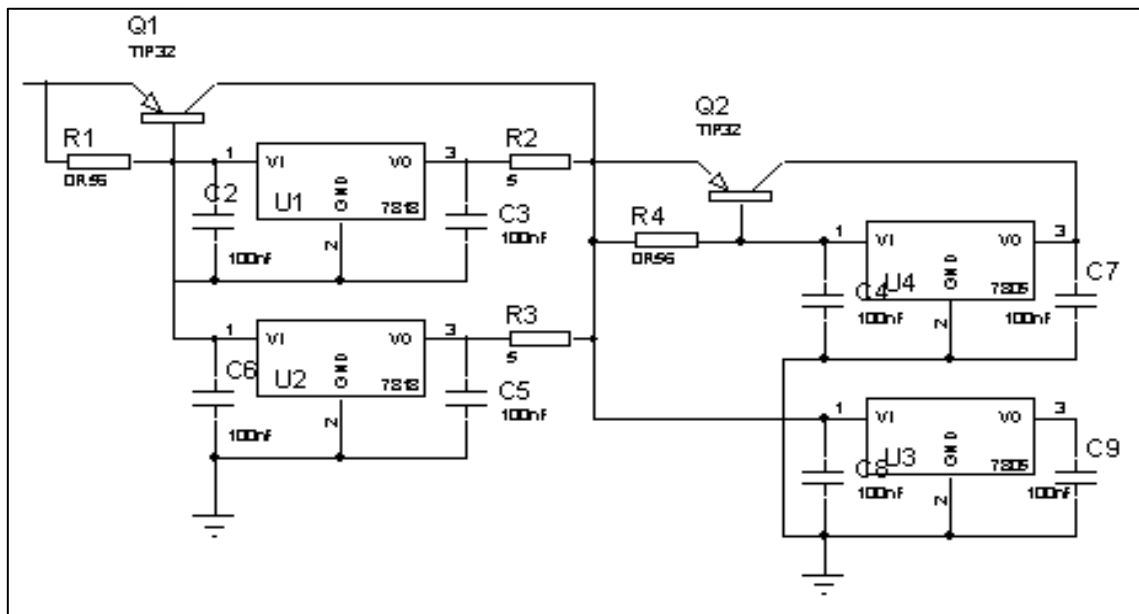


Figura 29. Configuración de reguladores para la construcción del sensor.

Fuente: Elaboración propia.

En la primera parte del circuito tenemos un transistor TIP 32C, el cual nos proporcionara un alza de corriente si es que el circuito en su funcionamiento lo requiere, seguidamente tenemos dos reguladores de 18 V en paralelo, que del mismo modo pueden proporcionar más corriente al circuito si lo requiere. Tenemos luego dos reguladores de 5V en cascada, los cuales alimentaran independientemente al circuito de salida y el sistema de circuitos integrados de tipo Cmos o TTL.

### Dispositivos seleccionados

- Puente rectificador: KBPC610
- Amplificador de corriente: TIP 32C
- Reguladores de Tensión: LM7818 - LM7805

### Diseño del circuito.

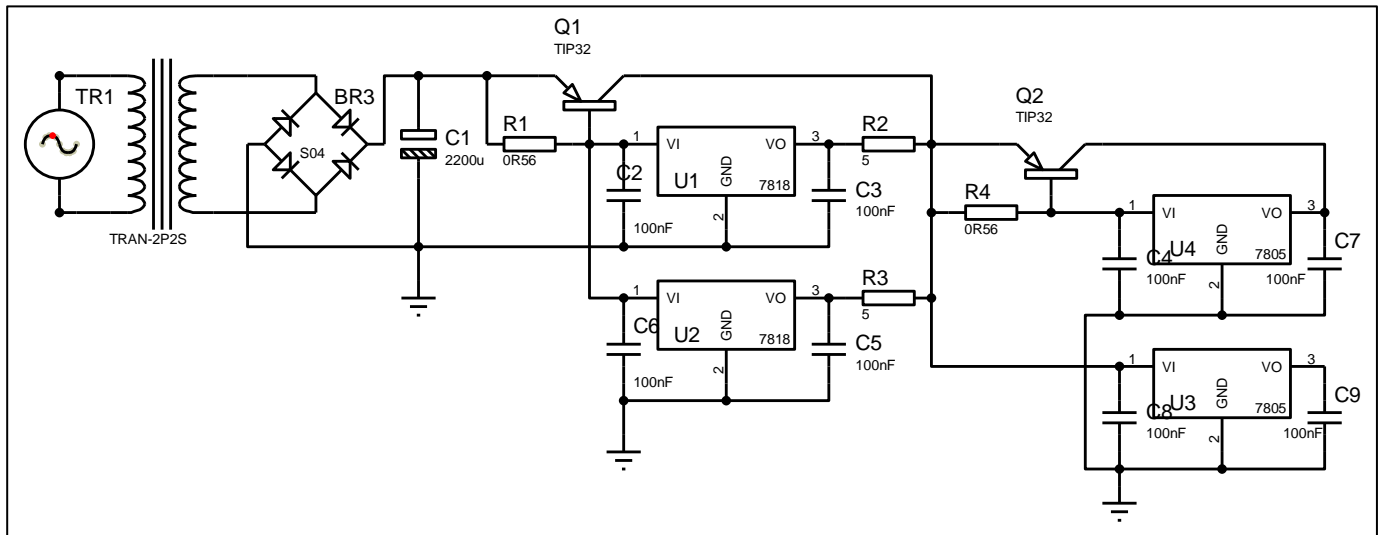


Figura 30. Circuito rectificador completo.  
Fuente: Elaboración propia.

### Simulación de circuito.

A continuación, mostraremos algunas simulaciones.

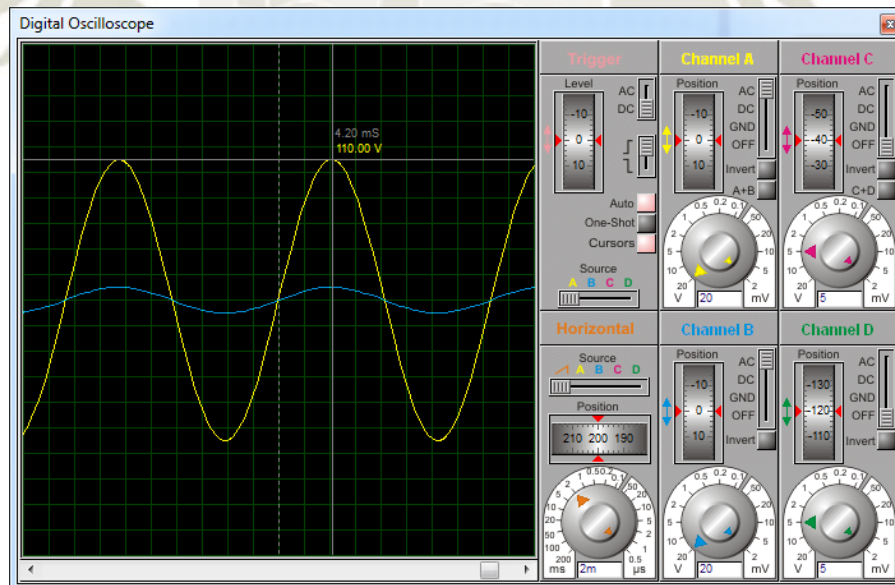


Figura 31. Señales de entrada y salida del transformador.  
Fuente: Elaboración propia.

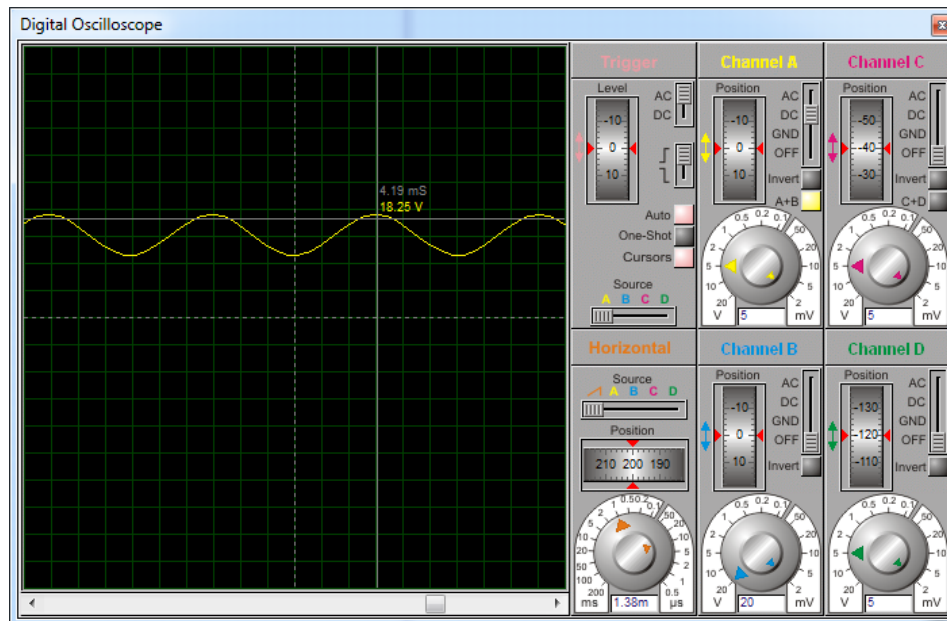


Figura 32. Señal obtenida del puente rectificador.  
Fuente: Elaboración propia.

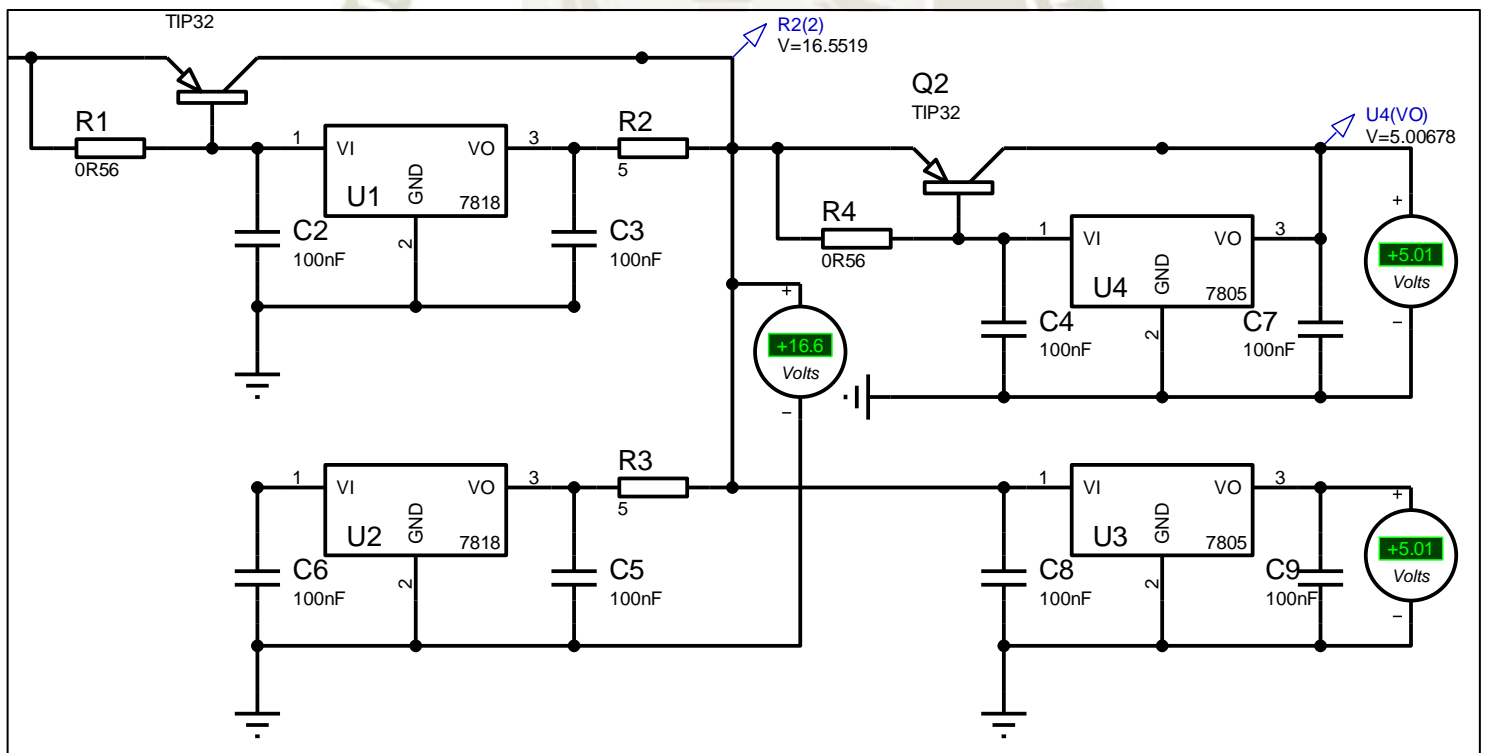


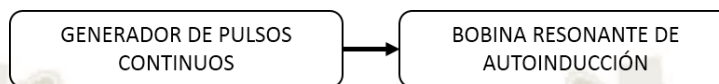
Figura 33. Simulación de señales de salida de los reguladores de tensión.  
Fuente: Elaboración propia.



### 3.3. Etapa emisora de campo magnético.

#### 3.3.1. Circuito generador de campo magnético.

##### Diagrama de bloques etapa de potencia.



*Figura 34. Diagrama de bloques etapa de potencia.*

*Fuente: Elaboración propia.*

##### **Funcionamiento.**

Esta etapa es la encargada de generar el campo magnético en la bobina de salida, para lo cual toma corriente continua de la etapa anterior y la tiene que convertir en pulsos que alimenten a la bobina emisora.

- **Generador de pulsos continuos.**

Teniendo en cuenta que la etapa anterior se obtiene corriente continua constante, nosotros debemos convertir esta corriente continua pero pulsante o corriente de alta frecuencia, para esto nos ayudamos de un dispositivo muy importante en la electrónica, que es el transistor que es utilizado como interruptor en los circuitos electrónicos de potencia.

Su funcionamiento se basa en la cantidad de veces que el transistor pueda estar en corte o saturación, de este modo creando una corriente continua pulsante, que es lo que se necesita inyectar a la bobina emisora.

- **Bobina resonante**

La bobina a utilizar en esta etapa será una bobina plana, la cual, al recibir una corriente de alta frecuencia, esta emitirá un campo magnético variable o campo oscilatorio, este fenómeno está regido por las leyes de Faraday.

La frecuencia que necesitamos para que el circuito entre en resonancia debe estar en el rango de 200 y 600 KHz.

### **Especificaciones técnicas del circuito.**

- Voltaje de entrada: 18 VDC.
- Salida: Corriente de alta frecuencia
- Tipo de bobina: Bobina plana con núcleo de aire.

### **Selección y cálculo.**

#### **Generador de pulsos continuos.**

Para seleccionar el dispositivo de potencia para esta aplicación, no depende mucho de los niveles de corriente y tensión que tengamos sino de sus características de conmutación, por ello elegimos un transistor BJT, el cual nos proporciona control de activación y desactivación en el proceso.

Las velocidades de conmutación y las pérdidas de potencia también son un factor importante en la elección de un dispositivo, el BJT es un dispositivo de portadores minoritario al contrario que el MOSFET es un dispositivo de portadores mayoritarios.

Las bobinas y condensadores tienen particularidades que resultan importantes en electrónica de potencia, que es almacenar energía.

Para un condensador la energía almacenada es:

$$w(t) = \frac{1}{2} C v^2(t)$$

Si la tensión del condensador es periódica, la energía almacenada al final y al principio de un periodo es la misma, por tanto, la potencia media

absorbida por el condensador es cero para funcionamiento periódico en régimen permanente.

$$P_C = 0$$

A partir de la relación tensión-corriente del condensador:

$$v(t_0 + T) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt + v(t_0)$$

Reordenando la ecuación anterior y sabiendo que los valores inicial y final son iguales para las tensiones periódicas:

$$v(t_0 + T) - v(t_0) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt = 0$$

Multiplicando por C/T obtenemos una expresión para la corriente media en el condensador en un periodo:

$$\text{med}[i_c(t)] = I_c = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt = 0$$

Por tanto, para tensiones periódicas, la corriente media de un condensador es cero.

Las bobinas y condensadores necesitan ser energizados y desenergizados para esta aplicación, por lo cual la energía que almacenan debe ser liberadas y recuperadas.



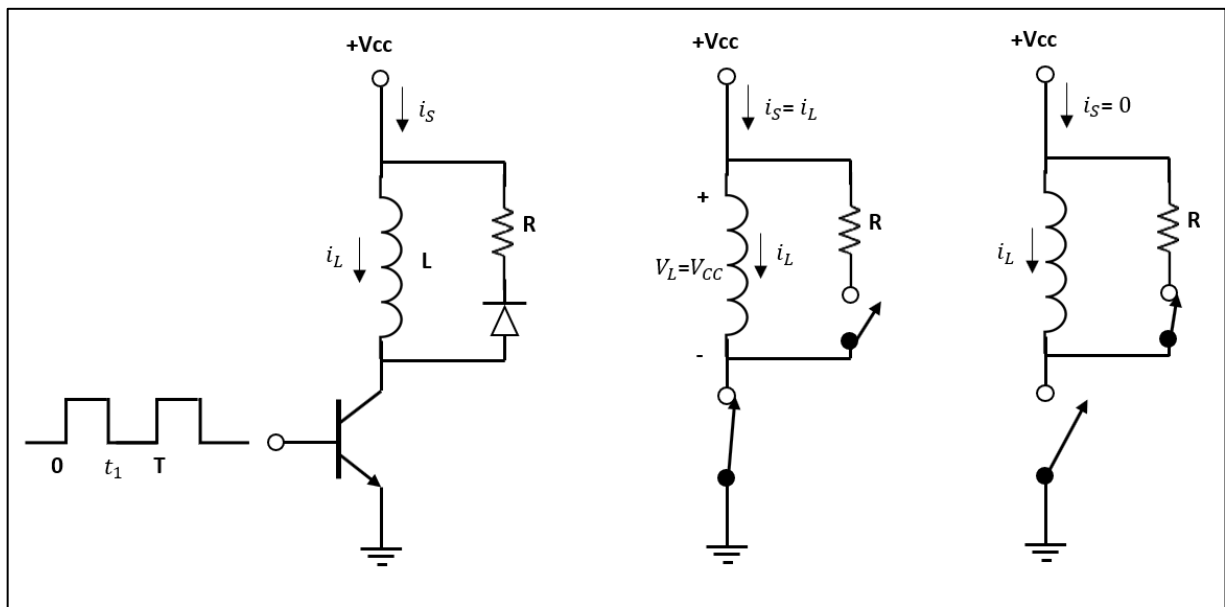


Figura 35. Circuito básico de transistor en modo on-off.  
Fuente: *Electrónica de Potencia* – Daniel W. Hart 2001

La imagen muestra una bobina a la que se energiza activando un transistor, es un modelo básico del circuito que se implementará.

El camino que pasa por la resistencia y el diodo proporciona un medio para abrir el conmutador y liberar la energía de la bobina cuando el transistor se desactiva.

Supongamos que el transistor está en constante estado de corte y saturación [21].

### TRANSISTOR EN CONDUCCION

La tensión en la bobina es  $V_{cc}$  y el diodo está polarizado en inversa cuando el transistor conduce.

$$V_L = V_{cc}$$

A partir de la relación tensión-corriente obtenemos una expresión para la corriente de la bobina.

$$i_L(t) = \frac{1}{T} \int_0^t v_L(\lambda) d\lambda + i_L(0) = \frac{1}{L} \int_0^t V_{CC} d\lambda + 0 = \frac{V_{CC}t}{L}$$

La corriente por la fuente es la misma que la corriente por la bobina:

$$i_S(t) = i_L(t)$$

Por tanto, las corrientes de la bobina y el generador aumentan linealmente cuando el transistor conduce [21].

### TRANSISTOR EN CORTE

En este estado el transistor está desactivado y el diodo conduce, la corriente por la fuente es nula y la corriente en la bobina y en la resistencia disminuye exponencialmente con la constante de tiempo  $L/R$ .

$$i_L(t_1) = \frac{V_{CC}T_1}{L}$$

Con esto la corriente de la bobina se expresa de la siguiente manera:

$$i_L(t) = i_L(t_1)e^{\frac{-(t-t_1)}{\tau}} = \left(\frac{V_{CC}t_1}{L}\right)e^{\frac{-(t-t_1)}{\tau}}, \quad t_1 < t < T$$

Donde:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

La corriente por la fuente es nula cuando el transistor está en corte:

$$i_S = 0$$

La potencia media entregada por la fuente de corriente continua durante el periodo de conmutación se determina mediante el producto de la tensión por la corriente media.

$$P_S = V_S I_S = V_{CC} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T i_S(t) dt \right] = V_{CC} \left[ \frac{1}{T} \int_0^{t_1} \left( \frac{V_{CC} t}{L} \right) dt + \frac{1}{T} \int_0^T 0 dt \right] = \frac{(V_{CC} t_1)^2}{2LT}$$

La potencia media absorbida por la resistencia es cero y la potencia absorbida por el diodo y el transistor también son cero, por tanto, toda la potencia entregada por la fuente debe ser absorbida por la resistencia:

$$P_R = P_S = \frac{(V_{CC} t_1)^2}{2LT}$$

Otro método de enfocar el problema consiste en determinar la energía de pico acumulada en la bobina:

$$W = \frac{1}{2} L i^2(t_1) = \frac{1}{2} L \left( \frac{V_{CC} t_1}{L} \right)^2 = \frac{(V_{CC} t_1)^2}{2L}$$

La energía almacenada en la bobina se transfiere a la resistencia mientras el transistor está abierto. La potencia absorbida por la resistencia puede determinarse a partir de:

$$P_R = \frac{W}{T} = \frac{(V_{CC} t_1)^2}{2LT}$$



Que debe ser también la potencia entregada por el generador. La función de la resistencia en el circuito es absorber la energía almacenada en la bobina y proteger al transistor [21].

### **Bobina resonante.**

En una bobina la energía almacenada es:

$$w(t) = \frac{1}{2} Li^2(t)$$

Si la corriente de la bobina es periódica, la energía acumulada al final de un periodo es igual a la energía que tenía al principio. Si no existe una transferencia de potencia neta, quiere decir que la potencia media absorbida por una bobina es cero para funcionamiento periódico en régimen permanente.

$$P_L = 0$$

La potencia instantánea no tiene que ser cero, ya que la potencia puede ser absorbida durante una parte del periodo y devuelta al circuito durante otra parte del periodo. Además, a partir de la relación tensión-corriente de la bobina:

$$i(t_0 + T) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt + i(t_0)$$

Reordenando la ecuación anterior y sabiendo que los valores inicial y final son iguales para las corrientes periódicas:

$$i(t_0 + T) - i(t_0) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt = 0$$

Multiplicando por  $L/T$  obtenemos una expresión equivalente a la tensión media en la bobina durante un periodo:

$$\text{med}[v_L(t)] = V_L = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt = 0$$

Por tanto, para corrientes periódicas la tensión media en una bobina es cero [21].

#### Dispositivos seleccionados:

- **Generador de pulsos continuos.**

Como se explicó anteriormente, se necesita de un transistor BJT de alta frecuencia para el circuito emisor, por lo cual se escogió el **BD139**.

- **Bobina resonante.**

La bobina emisora será del tipo plana con derivación central. Sera construido a partir de un cable de dos polos, los cuales son enrollados de adentro hacia afuera, una vez completadas las vueltas del bobinado, la punta de un cable exterior se empalma con uno del interior, esta sección será la derivación central, mientras que los otros dos serán los extremos del bobinado.

Esta bobina fue diseñada tomando el ejemplo de bobinas hechas por Nikola Tesla, las cuales no tienen datos de cálculo.

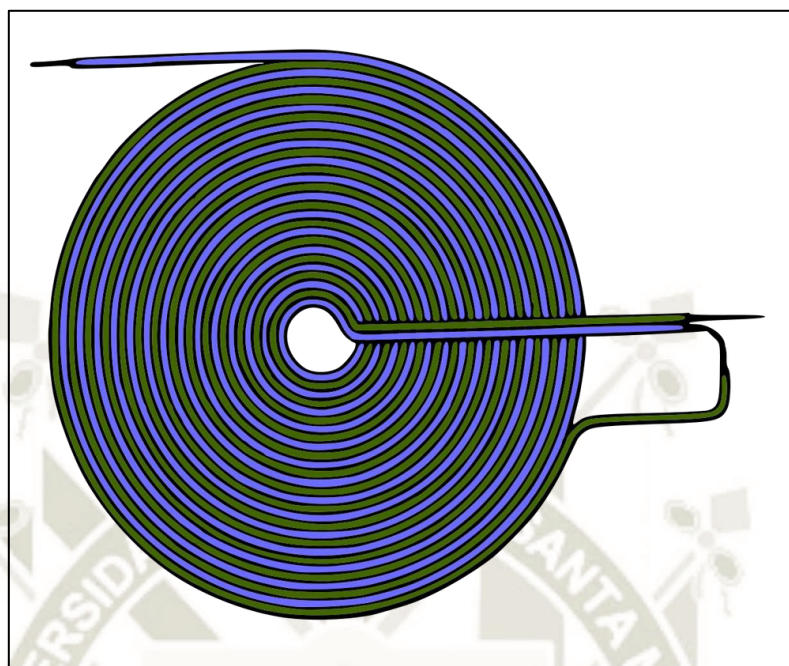


Figura 36. Bobina plana con núcleo de aire tipo panqueque.

Fuente: Disponible en internet.

[https://docs.google.com/document/d/1ljHVK3k\\_HrSmLkNTn1I7QNFLyYhHh8DhxOonkAM7wxQ/mobilebasic](https://docs.google.com/document/d/1ljHVK3k_HrSmLkNTn1I7QNFLyYhHh8DhxOonkAM7wxQ/mobilebasic)

### Diseño del circuito.

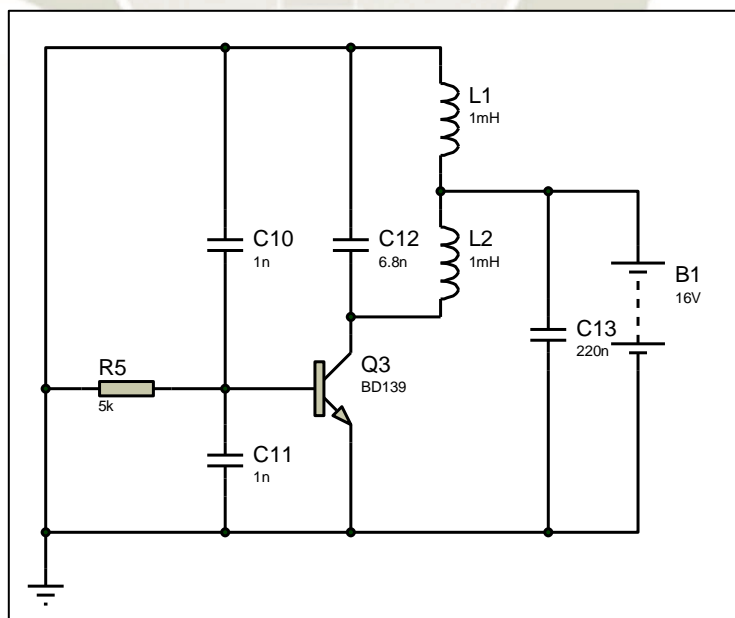
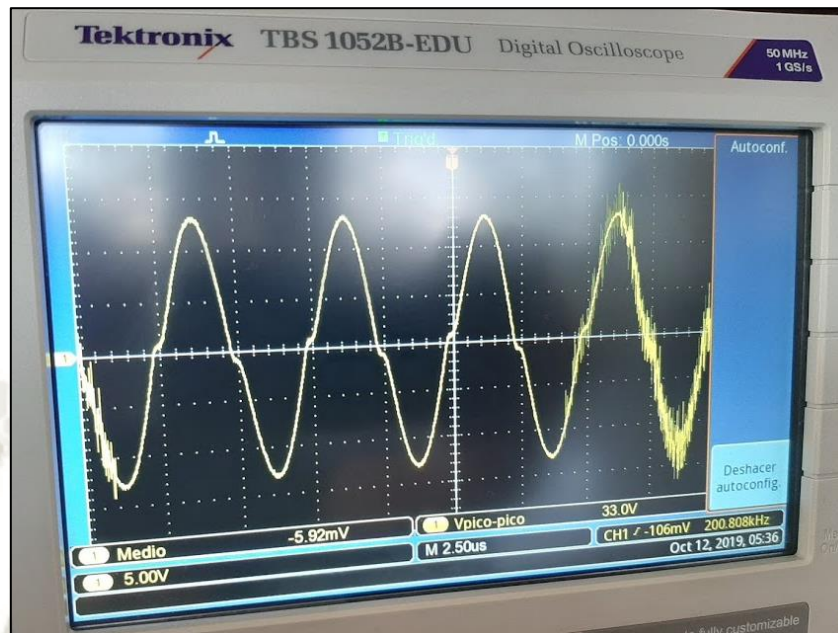


Figura 37. Circuito de potencia generador de pulsos de alta corriente.

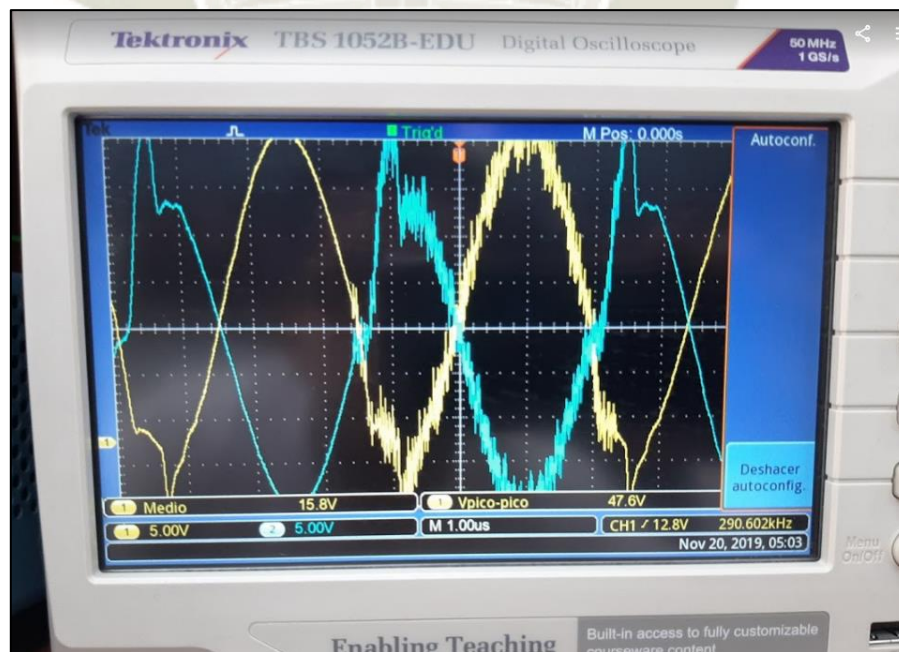
Fuente: Elaboración propia.



**Prueba en laboratorio de Generación de campo magnético.**



*Figura 38. Señal de alta corriente a la salida del colector del transistor.  
Fuente: Elaboración propia, pruebas en laboratorios de UCSM.*



*Figura 39. Señal de comparación a entrada y salida del transistor.  
Fuente: Elaboración propia, pruebas en laboratorios de UCSM.*

### 3.4. Etapa de enlace inductivo.

#### 3.4.1. Bobinas resonantes

##### Diagrama de bloques del enlace inductivo.



*Figura 40. Diagrama de bloques del enlace inductivo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### Funcionamiento.

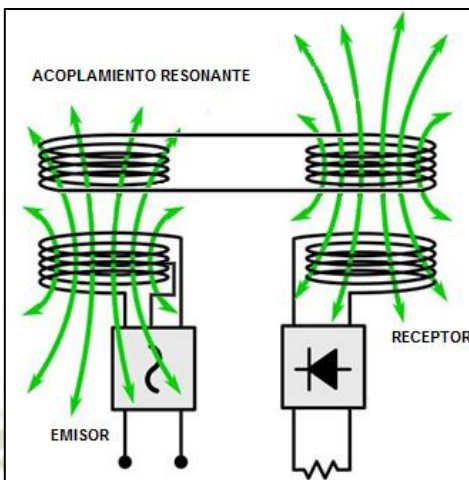
El principio físico que emplearemos en este proyecto es la transmisión de energía eléctrica mediante campos magnéticos, esto lo conseguimos gracias a los enlaces inductivos que existen entre bobinas resonantes.

La inducción magnética es el proceso mediante el cual campos magnéticos genera campos eléctricos.

Entonces para que el acoplamiento inductivo resonante sea óptimo, necesitamos que el factor de acoplamiento sea el mejor.

Dos bobinas son resonantes cuando el número de espiras y su tamaño son idénticas, así entran en resonancia y la transferencia de energía es máxima entre las dos.

### Acoplamiento resonante



*Figura 41. Distribución de bobinados del acoplamiento resonante.  
Fuente: Elaboración propia.*

El acoplamiento resonante es solo una bobina, el cual servirá de espejo de campo magnético, con lo cual transmitirá por resonancia el campo magnético del emisor para crear un nuevo campo magnético en el receptor a su vez un campo eléctrico,

Este acoplamiento resonante ira vulcanizado a la faja transportadora, y solo transmitirá cada cierta distancia donde se encuentre ubicada.

Las bobinas del acoplamiento resonante están unidas por sus terminales de principio y fin, así creando un bucle, si en algún momento del proceso un hilo del acoplamiento se rompe, este no transmite el campo magnético, y eso ocurriría si la faja transportadora se está rasgando longitudinalmente.

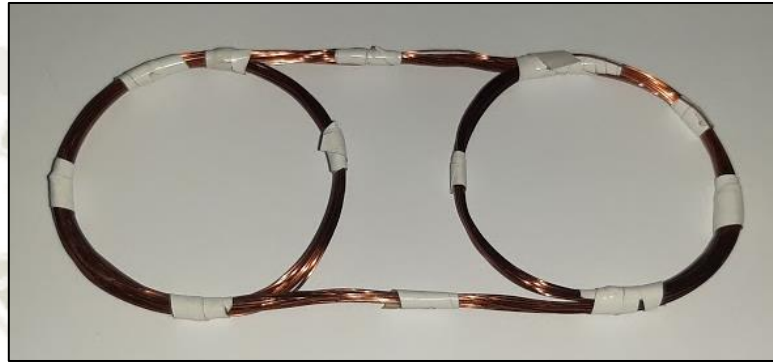
### Selección y cálculo.

#### Acoplamiento resonante

El acoplamiento resonante será construido de cable de cobre esmaltado de  $\frac{1}{2}$  mm de diámetro, ya que aprovecharemos su flexibilidad, el acoplamiento debe ser a escala de la medida del ancho de la faja, la



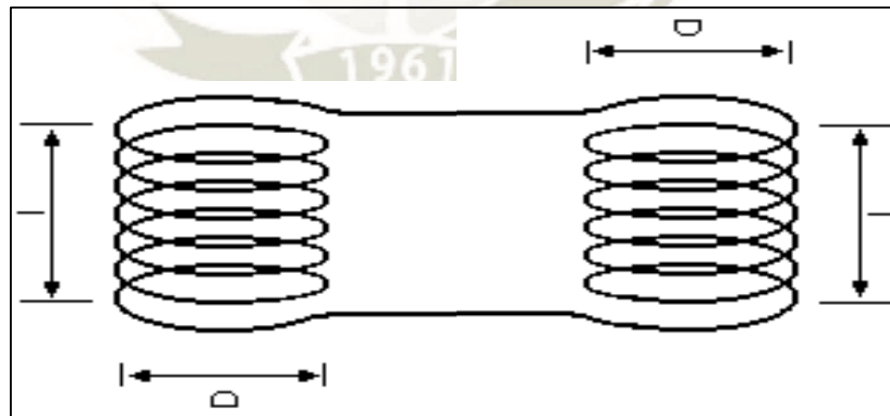
cantidad de vueltas y el diámetro del bobinado debe ser del mismo diámetro de las bobinas emisoras y receptoras para lograr el acople inductivo.



*Figura 42. Acoplamiento resonante utilizado en los bucles.  
Fuente: Elaboración propia.*

En este aspecto, al ser la faja transportadora un sistema móvil, se opta por implementar bobinas emisoras y receptoras de tipo planas, de tal modo que el acoplamiento resonante se adecue según el movimiento de la faja y la recepción de señal no sea baja.

#### **Diseño del circuito.**



*Figura 43. Diseño de acoplamiento resonante.  
Fuente: Elaboración propia.*

$$L[\mu H] = \frac{0.001n^2D^2}{l + 0.45D}$$

Donde:

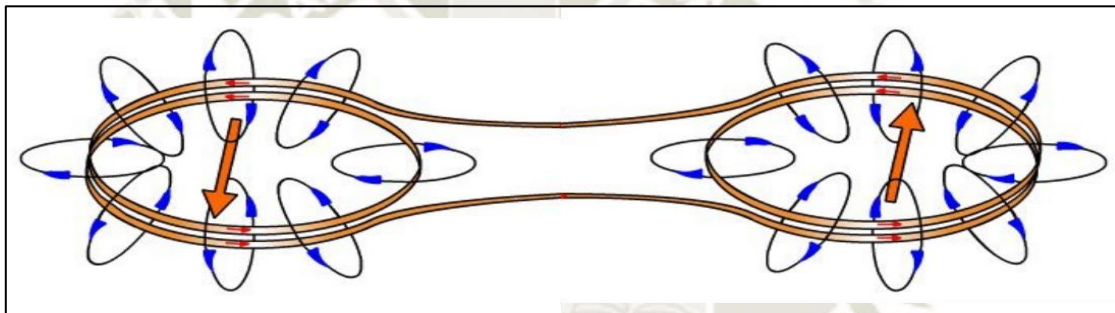
n = número de espiras

D = diámetro de la bobina en mm.

l = longitud del bobinado en mm.

Para nuestro caso la inductancia se multiplica por 2, ya que el bobinado es doble.

#### Simulación de circuito.



*Figura 44. Campo magnético generado por el acoplamiento resonante.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5.Etapa receptora de campo magnético

#### 3.5.1. Circuito rectificador.

##### Diagrama de bloques etapa de recepción de campo magnético.



*Figura 45. Diagrama de bloque receptor de campo magnético.  
Fuente: Elaboración propia.*

### **Funcionamiento.**

Esta etapa está encargada de recepcionar el campo magnético y convertir en campo eléctrico, de esta manera tratar la señal para controlar más adelante en la detección de ruptura de faja transportadora.

### **Bobina receptora**

La bobina receptora en esta etapa es de tipo simple (1 solo bobinado), esta bobina se encarga de recibir el campo magnético del bucle o acoplamiento resonante y convertirlo en campo eléctrico (corriente alterna), esta señal será entregada a la siguiente etapa de rectificación.

También se puede considerar aplicar bobina de tipo plana por el movimiento inestable de la faja transportadora.

### **Puente rectificador.**

El puente rectificador en esta etapa tiene el mismo propósito que la primera etapa, que es rectificar y filtrar la señal alterna obtenida en el bobinado receptor, lo único que cambia es las dimensiones, ya que en esta etapa se manejan corrientes más pequeñas.

Es necesario adicionar el condensador como filtro.

### **Especificaciones técnicas del circuito.**

- Entrada: campo magnético
- Corriente de entrada: corriente alterna.
- Voltaje de salida: variable.

### **Dispositivos seleccionados:**

- Puente rectificador: KBP206



### Diseño del circuito.

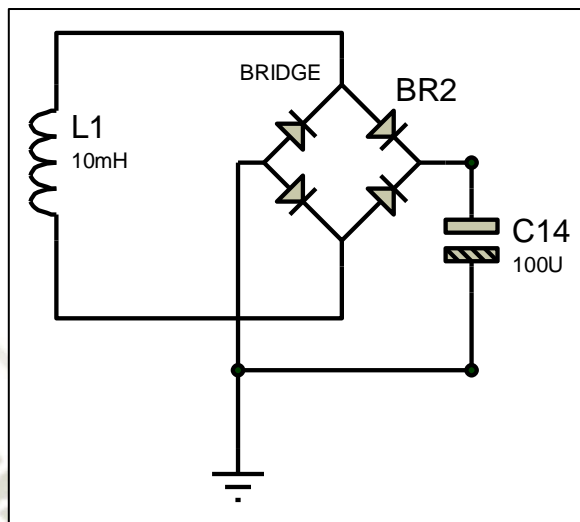


Figura 46. Diseño de circuito receptor de campo magnético.  
Fuente: Elaboración propia.

### Prueba en laboratorio de Generación de campo magnético.

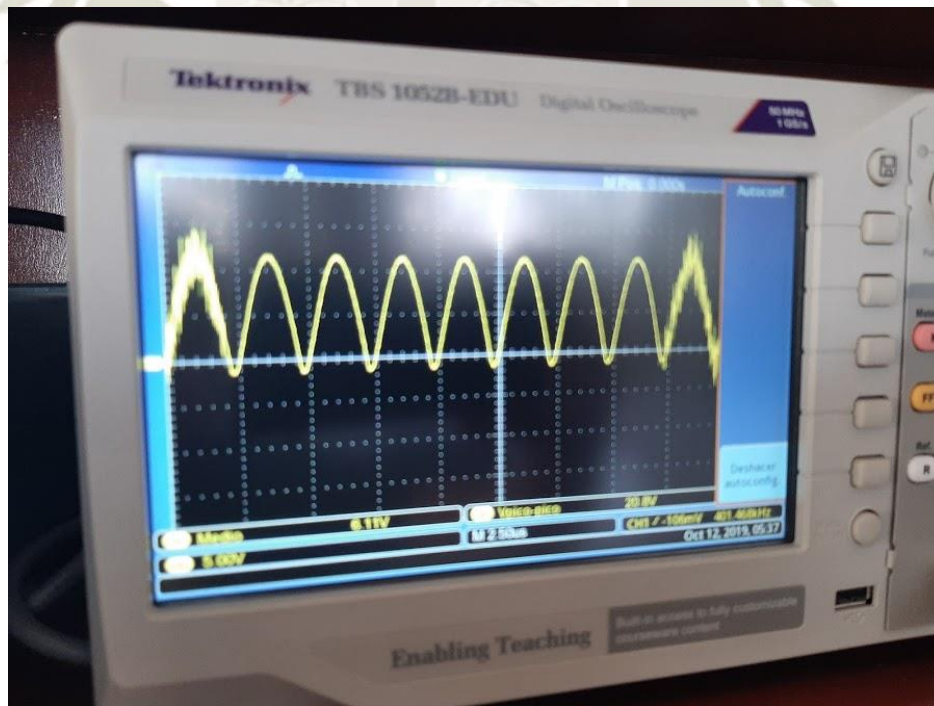
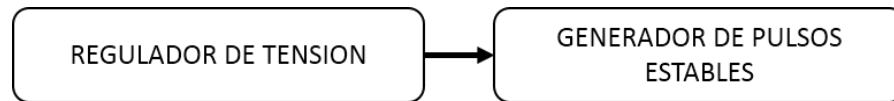


Figura 47. Señal obtenida de la bobina receptora.  
Fuente: Elaboración propia, pruebas en laboratorios de UCSM.

### 3.6. Etapa de tratamiento de señal



*Figura 48. Diagrama de bloques etapa de tratamiento de señal.*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 3.6.1. Circuito regulador

##### **Funcionamiento.**

En esta etapa, la señal adquirida en el puente rectificador anterior es regulada, como el valor adquirido en la bobina receptora nunca será la misma, para etapas posteriores necesitamos una señal constante, así que regulamos la señal que será entregada a la siguiente etapa.

##### **Especificaciones técnicas del circuito.**

- Entrada: Corriente variable en el tiempo.
- Salida: Voltaje rectificado.

##### **Selección y cálculo.**

Para el caso práctico, un regulador siempre usa condensadores a la entrada y la salida, estos condensadores de entrada y salida mejoran la estabilidad del regulador y su respuesta a los transitorios.

##### **Dispositivos seleccionados:**

- Rectificador LM 7805

#### 3.6.2. Circuito generador de pulsos.

##### **Funcionamiento.**

Para dar inicio a la etapa de control, necesitamos una señal de tipo tren de pulsos, para obtener este tipo de señal hacemos que el transistor trabaje como interruptor.

En esta función el interruptor entra en corte y saturación, dependiendo de la señal de control que ingrese por la base del transistor, si la IB es 0, el transistor está en corte, Si la IB es mayor creando un diferencial de tensión mínimo de 0.6v en la base, el transistor está en saturación.

De este modo por el colector obtendremos una señal de tren de pulsos, que nos servirá en la siguiente etapa.

### **Especificaciones técnicas del circuito.**

- Entrada en base: Tensiones variables
- Salida: Tren de pulsos.
- Función del transistor: Función de interruptor.

### **Selección y cálculo.**

Utilizaremos un transistor de tipo NPN, por ser más sencilla su configuración.

El transistor en nuestro caso trabajara en corte y saturación.

### **Transistor en corte.**

Se llama región de corte cuando no existe tensión en la base del transistor o la tensión de la base es muy pequeña. Lo que ocurre en este estado es que entre el colector y el emisor no circulan electrones o corriente eléctrica, entonces el transistor se comporta como un interruptor abierto.

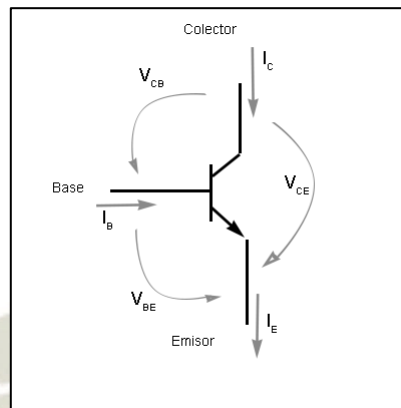
La región de corte nos dice que el transistor no está trabajando, el transistor no deja pasar la corriente eléctrica entre sus terminales de emisor y colector.

### **Transistor en saturación.**

Un transistor se encuentra en la región de saturación cuando la corriente eléctrica circula entre emisor y colector como si se tratara de un circuito



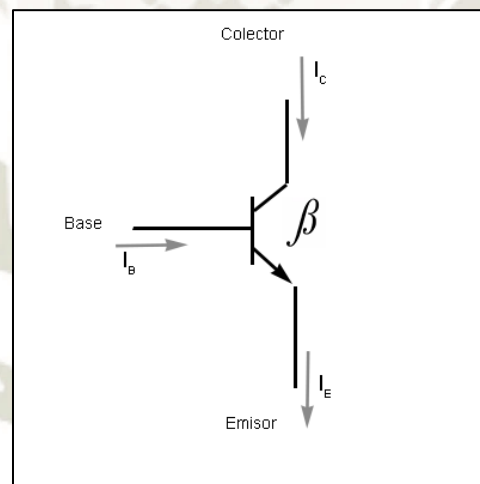
cerrado. Por ejemplo, toda la corriente que entra por el colector sale por el emisor.



*Figura 49. Corrientes y voltajes en un transistor.*

*Fuente: Electrónica de Potencia – Danel W. Hart 2001*

A continuación, analizaremos cómo se comportan las corrientes y voltajes.



*Figura 50. Corrientes del transistor.*

*Fuente: Electrónica de Potencia – Danel W. Hart 2001*

Las flechas indican la dirección de las corrientes, donde:

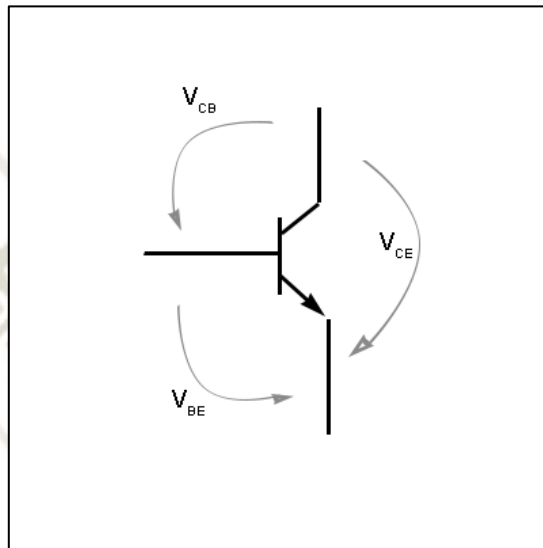
$$I_E = I_C + I_B$$

La letra B es la ganancia y representa la relación entre la intensidad del colector y la intensidad del emisor, viene a ser la ganancia o incremento de intensidad que sale por el emisor.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_C = \beta * I_B$$

En cuanto a las tensiones tenemos:



*Figura 51. Voltajes del transistor.*

*Fuente: Electrónica de Potencia – Danel W. Hart 2001*

La relación entre las tensiones está dada por:

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

### Dispositivos seleccionados

Para esta etapa utilizaremos el transistor BC337.

### Diseño del circuito.

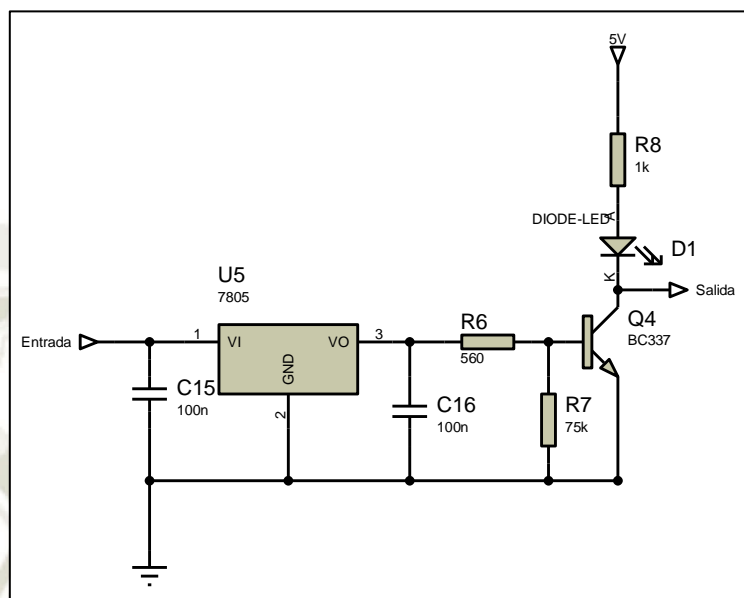


Figura 52. Diseño de circuito de tratamiento de señal.

Fuente: Elaboración propia.

### Prueba en laboratorio de Generación de campo magnético.

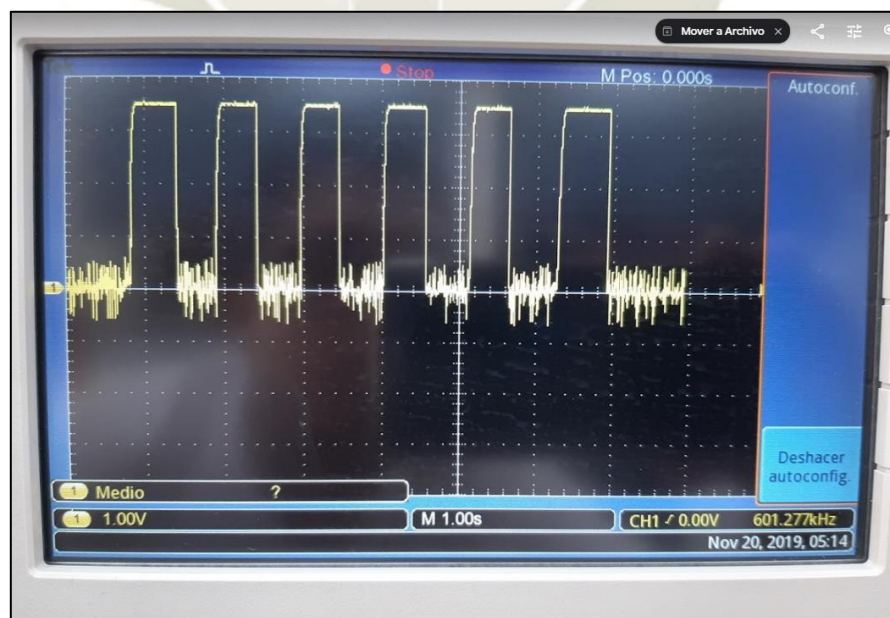


Figura 53. Señal obtenida a la salida del transistor.

Fuente: Elaboración propia, pruebas en laboratorios de UCSM



### 3.7. Etapa de control y comparación

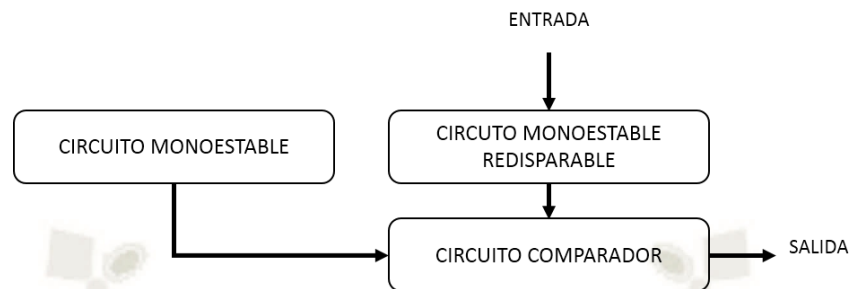


Figura 54. Diagrama de bloques etapa de control y comparación.

Fuente: Elaboración propia.

Esta etapa es la más importante, aquí combinamos las señales tratadas durante procesos anteriores y las comparamos para obtener una respuesta de salida discreta, esta señal es la que puede controlar externamente cualquier sistema discreto para el control requerido.

#### 3.7.1. Circuito monoestable.

El monoestable es un circuito multivibrador que realiza una función secuencial, al recibir una excitación exterior, cambia de estado y se mantiene en él durante un periodo que viene determinado por una constante de tiempo. Transcurrido dicho periodo de tiempo, la salida del monoestable vuelve a su estado original. Por tanto, tiene un estado estable y un estado casi estable [22].

#### Funcionamiento

Para nuestro caso la salida del monoestable servirá como una señal de comparación, es decir esta señal será comparada con otra, para determinar una tercera señal que sirva para controlar la salida final del sensor.

Este circuito recibirá un flanco de subida al encender el circuito el cual activará la salida del monoestable, esta salida crea una señal que es enviada al comparador, lo que hace esta señal es simular un pulso de detección de bucle de esta manera el sistema de faja transportadora podrá funcionar, claro

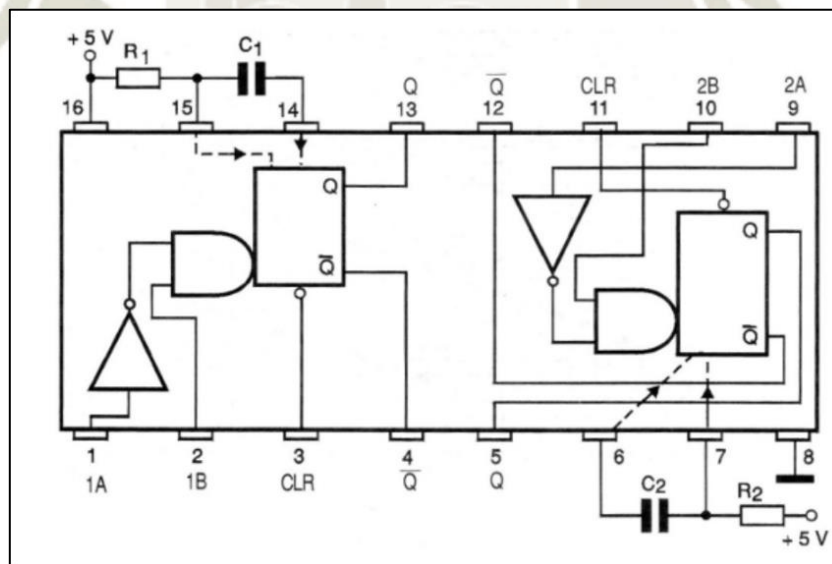
que esta ventana de tiempo es limitado y si el sistema no arranca, y por consecuencia el sensor no detecta bucles de campo magnético, el sistema monoestable debe ser reiniciado para generar otra ventana de tiempo y poner en marcha el sistema.

### Especificaciones técnicas.

- Tipo de señal de control: Discreta.
- Señal de entrada: Discreta.
- Señal de salida: Discreta temporizada.

### Selección y cálculo.







Para esta etapa utilizaremos el integrado 74LS123, es un monoestable redispensible doble, este circuito puede ser disparado por flanco de subida o flanco de bajada.



*Figura 55. Interior de un encapsulado 74LS123.*

*Fuente: Datasheet de integrado 74LS123.*

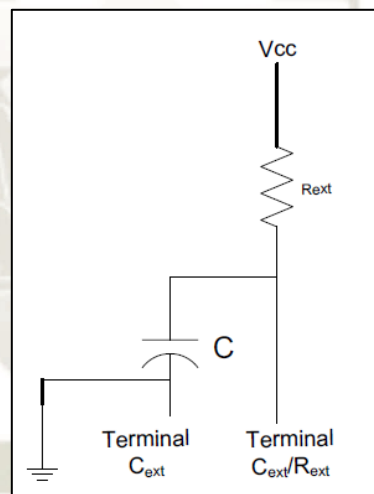
A continuación mostramos la tabla funciones del integrado anterior.

INPUTS			OUTPUTS	
CLEAR	A	B	Q	Q
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↑		
H	↓	H		
↑	L	H		

*Tabla 3. Tabla de funciones del 74LS123.*

*Fuente: Datasheet de integrado 74LS123.*

Para determinar el tiempo de activación de salida tenemos que configurar la siguiente red RC.



*Figura 56. Red RC para determinar tiempo.*

*Fuente: Datasheet de integrado 74LS123.*

La relación del ancho de pulso en función de R y C es el siguiente:

$$T = K * R * C$$

Donde:

T: Tiempo.

R: Resistencia.

C: Capacitor.

K: Constante



$$T = 0.9 * 47k\Omega * 100\mu F$$

$$T = 4.3 \text{ s}$$

Ya que el valor de la resistencia no es exacto, el tiempo de la ventana tiene un margen de error, a esto se le considera la constante K que depende del fabricante, temperatura o tipo de encapsulado.

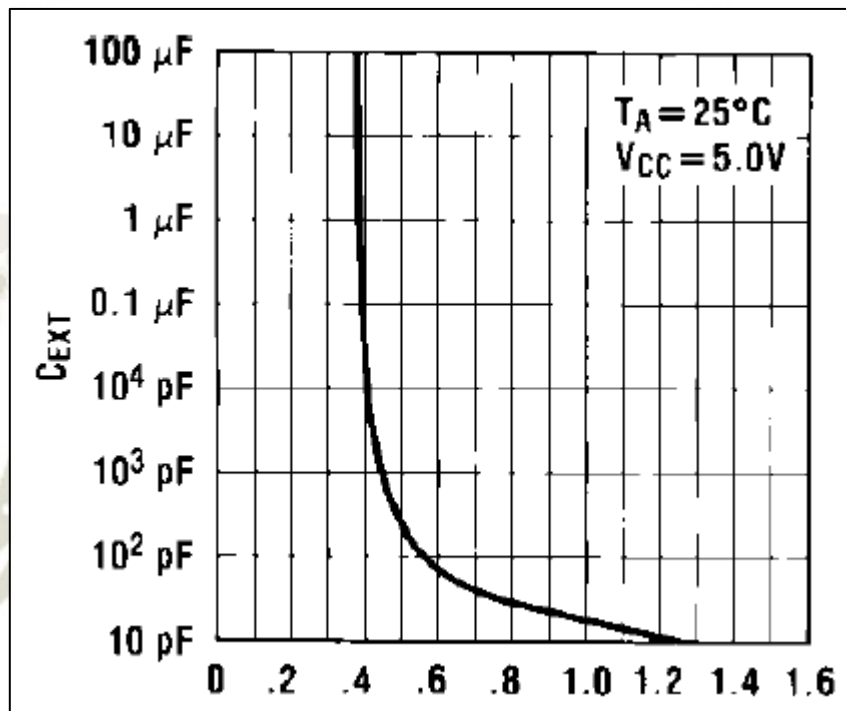


Figura 57. Variación de constante K según capacitor.

Fuente: Datasheet de integrado 74LS123.

Con la entrada A en el nivel bajo, el circuito se dispara por flanco de subida en la entrada B.

Si la entrada B se mantiene en el nivel alto, el circuito se dispara por flanco de bajada en la entrada A.

La entrada Clear debe mantenerse en el nivel alto. Si se conecta a tierra, el disparo será inhibido y el circuito volverá a la condición inicial.

### Dispositivos seleccionados.

Integrado HD74LS123P

### Diseño de circuito.

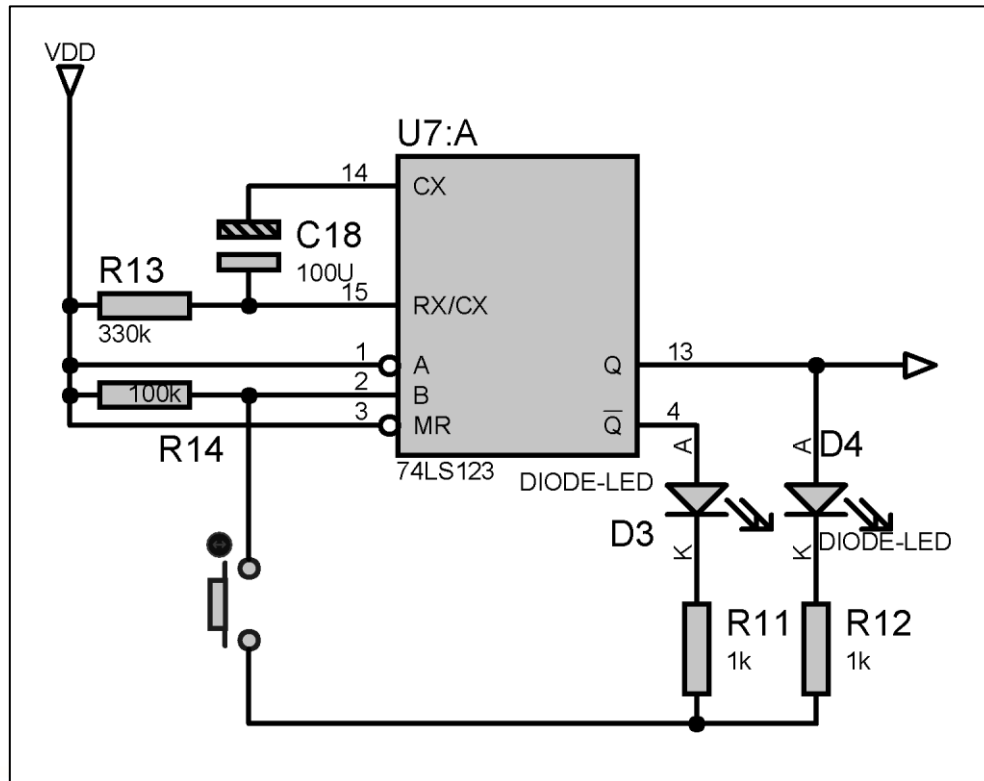


Figura 58. Circuito monoestable.  
Fuente: Elaboración propia.

### Simulación de circuito.

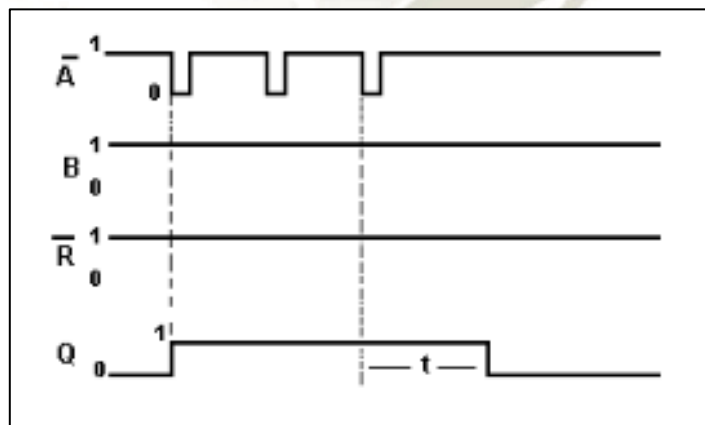


Figura 59. Diagrama de tiempos de un circuito monoestable.  
Fuente: Datasheet de integrado 74LS123

### 3.7.2. Circuito monoestable redisparable.

El monoestable redisparable también es un multivibrador. Tan igual que el caso anterior, al recibir una señal exterior, su salida cambia de estado y se mantiene por un tiempo determinado, la diferencia es que el redisparable permite reiniciar el pulso con un nuevo disparo antes de completar la temporización en este periodo de tiempo.

#### Funcionamiento

En nuestro circuito el monoestable redisparable se encuentra después de la señal generadora de pulsos, entonces el tren de pulsos que ingresan al redisparable, ya sea de flanco de subida o de bajada será el que active la salida del redisparable, es decir que cada vez que un bucle inductivo (que se encuentra dentro de la faja transportadora) pase por el circuito receptor, nosotros tendremos un pulso que active el redisparable, el periodo del redisparable será ajustado de tal modo que el tiempo que llega un bucle al sensor sea menor del tiempo de desactivación del redisparable, de este modo cada vez que un nuevo bucle pase por el sensor, el redisparable reinicie el periodo de salida y siga mandando salida positiva o pulso discreto de valor 1.

#### Especificaciones técnicas.

- Tipo de señal de control: Discreta.
- Señal de entrada: Discreta.
- Señal de salida: Discreta temporizada reinicialable

#### Selección y cálculo.

En esta etapa se utilizará el integrado CMOS, HCF4538BE,

Es un monoestable redisparable de precisión que proporciona un redisparo estable, como cualquier monoestable, una resistencia externa  $R_x$  y un condensador externo  $C_x$  controlan el tiempo y precisión para el circuito.



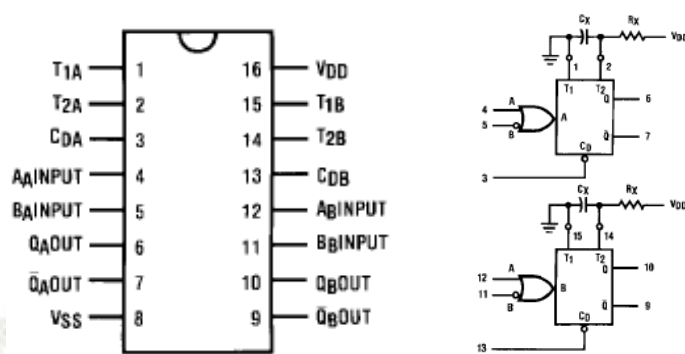


Figura 60. Distribución de encapsulado 4538.  
Fuente: Datasheet de integrado HCF4538BE.

A continuación, mostramos la tabla de funciones del redisparable.

Inputs			Outputs	
Clear	A	B	Q	$\bar{Q}$
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↓	⌊	⌋
H	↑	H	⌊	⌋

Tabla 4. Tabla de funciones del HCF4538BE.  
Fuente: Datasheet de integrado HCF4538BE.

La fórmula para determinar el tiempo de activación de las salidas es el siguiente:

$$T = k * R_X * C_X$$

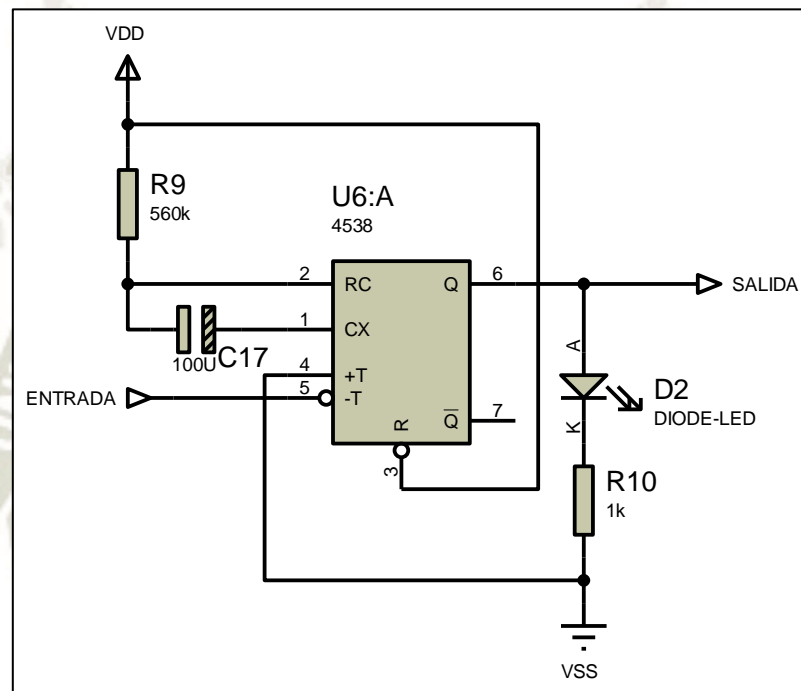
$$T = 0.33 * 75k\Omega * 100\mu F$$

$$T = 2.47 s$$

El tiempo que se mantiene activo el monoestable redisparable es de 2.47 segundos, en este tiempo si el receptor no genera una nueva señal, el sistema se detiene, y para nuestro caso según la distribución de bucles, cada bucle demora en pasar por el sensor 1.26 segundos, entonces cada 1.26 segundos el redisparable se reinicia.

Para nuestro caso si el sistema detecta la ruptura de dos bucles, implica que el tiempo de reinicio se duplica a 2.53 segundos, por ende, si el tiempo de reinicio es mayor a tiempo activo del redisparable que es de 2.47 segundos el redisparable no manda señal al comparador y este a su vez genera salida o, lo que ocasiona que el sistema se detenga.

### Diseño de circuito.



*Figura 61. Circuito monoestable redisparable.  
Fuente: Elaboración propia.*

### Diagrama de tiempos del monoestable redispensible.

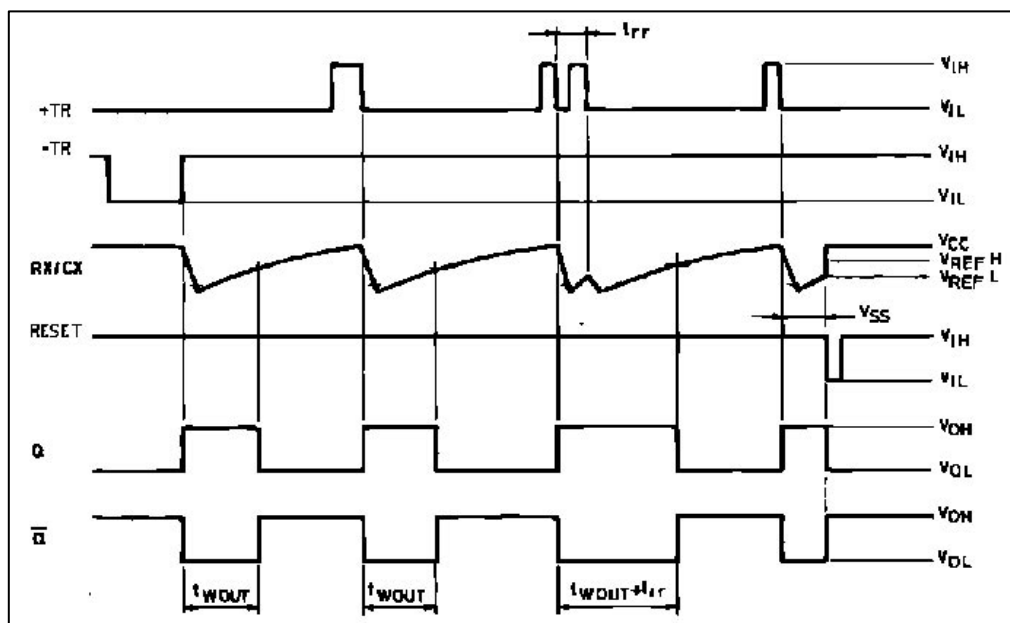


Figura 62. Diagrama de tiempos de un redispensible.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7.3. Circuito comparador.

Entendemos por circuito comparador a aquel que compara dos señales de entrada para así obtener una señal de salida acorde a la necesidad del circuito. En la electrónica digital tenemos las compuertas lógicas que son muy útiles y para nuestro caso necesario para obtener la señal de control.

#### Funcionamiento

En esta tercera etapa de la parte de control nosotros necesitamos comparar las señales que entran del monoestable y del monoestable redispensible, para así obtener una señal de salida positiva, para esto hacemos uso de la compuerta OR, siempre que esta compuerta reciba una señal, la señal de salida será 1 lógico.

Entonces encendido el sistema de fajas, el monoestable entregará un 1 lógico a la compuerta OR, y después de que la faja este en movimiento, el sensor



detecta el primer bucle, y el redispensible genera un 1 lógico, la compuerta OR siempre que reciba una señal positiva hará que el sistema siga funcionando.

### Especificaciones técnicas.

- Señal de entrada: Discreta, 1 lógico.
- Señal de salida: Discreta, 1 lógico.
- Tipo de compuerta: OR
- Voltaje de alimentación: 5V

### Selección y cálculo.

En esta etapa se utiliza una compuerta OR, para esto utilizamos el encapsulado o circuito integrado 7432.

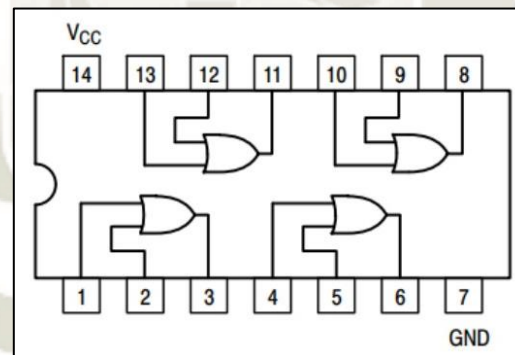
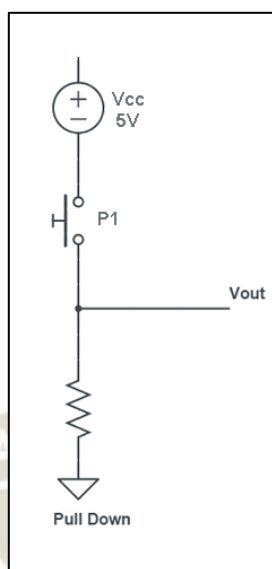


Figura 63. Distribución de compuertas en un encapsulado 7432.

Fuente: Datasheet de integrado 74LS32.

Como ya sabemos para activar una salida lógica, necesitamos que las entradas reciban señal de algún tipo, pero en el caso de compuertas lógicas estas deben ser ingresadas mediante un circuito PULLDOWN. Los circuitos Pulldown son solo simples configuraciones de resistencias que sirven para establecer un estado en un pin o entrada cuando se encuentran en estado de reposo, y en este caso específico la caída de tensión en estado de reposo es prácticamente 0.



*Figura 64. Configuración de resistencia Pulldown.  
Fuente: Datasheet de integrado 74LS32.*

Para determinar la salida de la compuerta OR presentamos su tabla de verdad.

Símbolo compuerta OR

A	B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Compuerta lógica OR, Tabla de verdad

*Figura 65. Tabla de verdad compuerta OR.  
Fuente: Datasheet de integrado 74LS32.*

### Diseño de circuito.

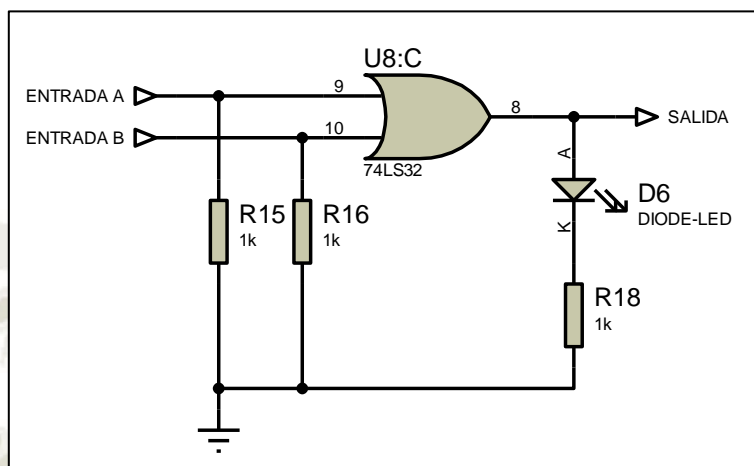


Figura 66. Circuito comparador.  
Fuente: Elaboración propia.

### Diagrama de tiempos compuerta OR.

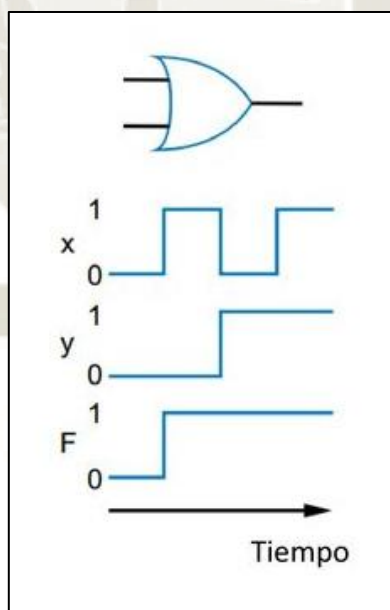


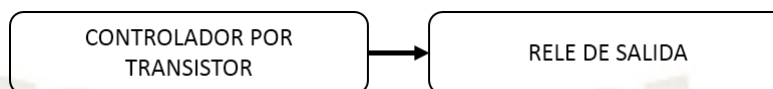
Figura 67. Diagrama de tiempos compuerta OR.  
Fuente: Datasheet de integrado 74LS123



### 3.8. Etapa de salida.

#### 3.8.1. Circuito de salida por relé.

##### Diagrama de bloques circuito de salida.



*Figura 68. Diagrama de bloques etapa de salida.*

*Fuente: Elaboración propia.*

##### Funcionamiento.

En esta etapa definimos la salida total de nuestro sensor, que para el caso tiene que ser un relé, ya que este dispositivo eléctrico, puede ser controlado con bajas corrientes y en sus contactos trabajar con corrientes altas para el control de dispositivos de fuerza. El funcionamiento se da cada vez que un bucle resonante sea detectado, la salida mandará circuito cerrado, de tal modo que se puede controlar el encendido y apagado de cargas en los contactos del relé. Para esto tenemos que conectar el relé a un circuito electrónico digital a través de un transistor.

##### Especificaciones técnicas.

- Tipo de señal de control: Discreta de tipo TTL o CMOS
- Señal de entrada: Discreta.
- Salida: Control a contactos de relé.

##### Selección y cálculo.

El modo más sencillo para activar un relé con un circuito electrónico de control es a través de un transistor NPN conectado en modo emisor común. El transistor, conectado de este modo, cierra el circuito poniendo a masa el terminal de la bobina mientras que el otro terminal se encuentra conectado a positivo.

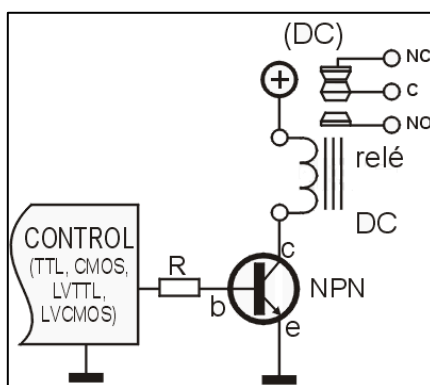


Figura 69. Circuito de activación de relé.

Fuente: Disponible en internet. <https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>

El transistor se comportará en dos estados, corte y saturación, en estado de corte el relé no se encuentra alimentado por que la salida del circuito de control es 0.

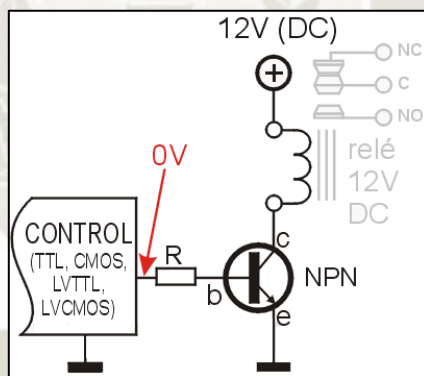


Figura 70. Transistor en corte.

Fuente: Disponible en internet. <https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>

Cuando la salida del circuito de control es alta (5V, por ejemplo), se supera la tensión de umbral de la base del transistor (0,6V) y, por lo tanto, empieza a circular una corriente entre base y masa. Esta corriente lleva el transistor al estado de conducción cerrando el circuito de la bobina del relé y por lo tanto activándolo.

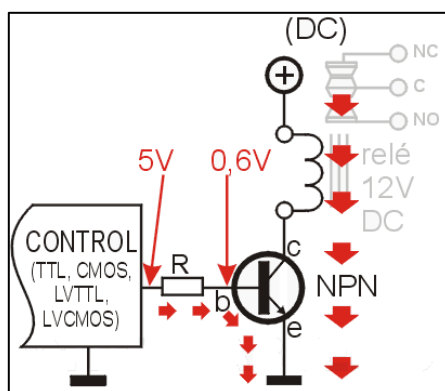


Figura 71. Transistor saturado.

Fuente: Disponible en internet. <https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>

Cuando se desactiva el transistor, en la bobina del relé se crea un campo magnético, y por un breve momento es una tensión muy elevada, que puede dañar el transistor, para solucionar este problema se coloca un diodo rectificador inversamente polarizado de modo que absorba el pico de tensión de polaridad opuesta.

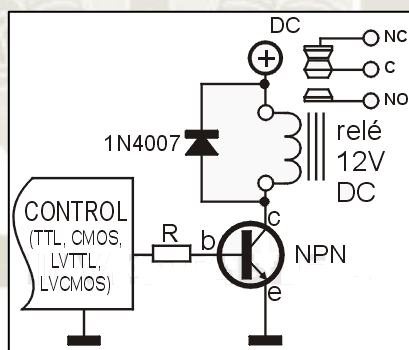


Figura 72. Diodo usado para proteger el circuito.

Fuente: Disponible en internet. <https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>

El relé que utilizaremos debe tener una corriente de conmutación entre 1A y 10A y tensión de alimentación de la bobina de 5V. Para estos tipos de relés la corriente necesaria para activar la bobina es entre 20 mA y 100 mA.



Un detalle muy importante para proteger el transistor es acoplar una resistencia de base, y el valor se halla con la siguiente formula.

$$R = \frac{(V_{in} - 0.6) * HFE}{I_{rele}}$$

También es necesario acoplar una resistencia a masa, esta resistencia es utilizada para evitar que el transistor pueda activar de modo errático al relé si nuestra entrada de control se encuentra en un estado indefinido.

### Dispositivos seleccionados.

El transistor que utilizaremos es el BC337, ya que tiene una buena ganancia HFE y es capaz de controlar corrientes de hasta 600 mA.

A la salida final debemos tener relés robustos, por ello escogimos los HRS2H. Que trabajan en sus contactos con tensión alterna.

### Diseño de circuito.

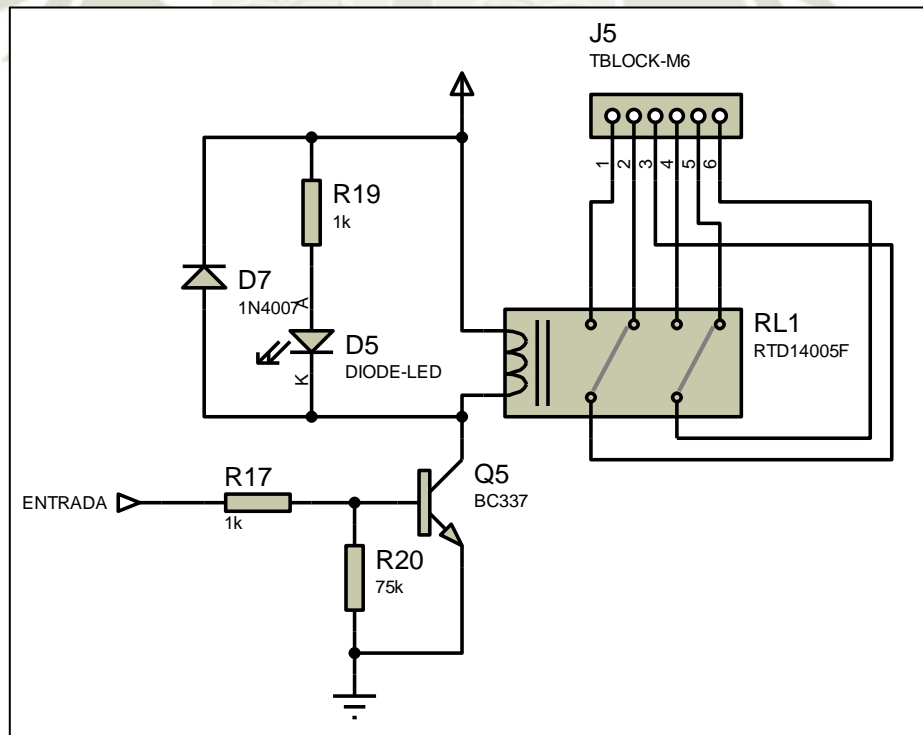


Figura 73. Circuito de salida.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.9.Circuito completo.

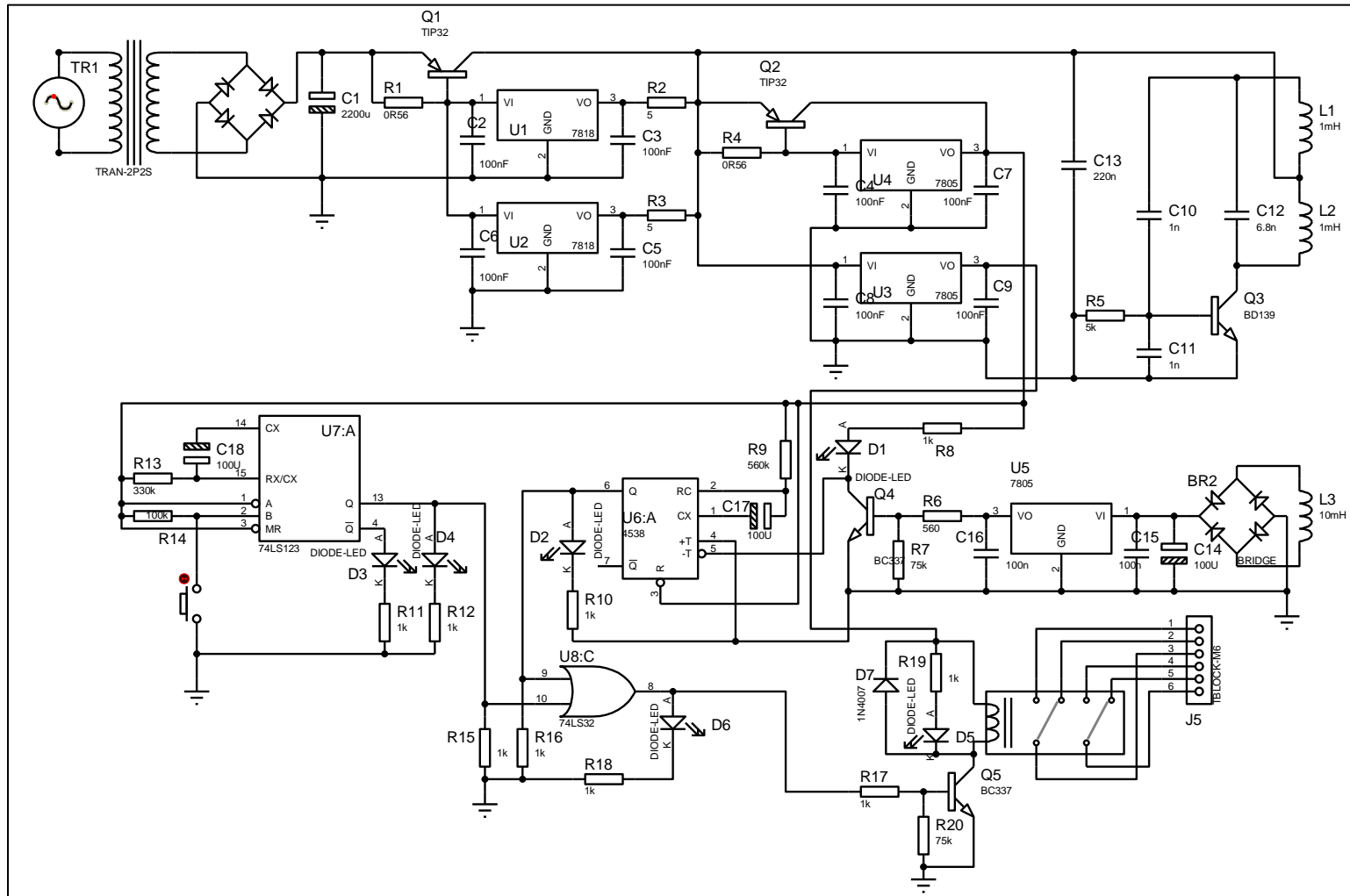
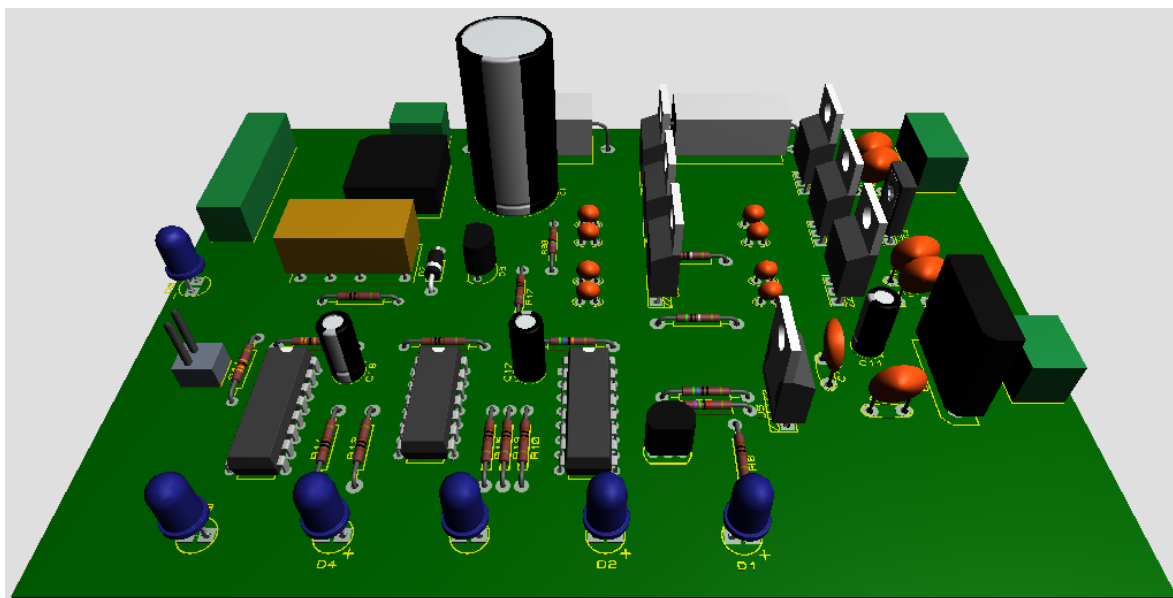


Figura 74. Circuito completo.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.10. Circuito 3D.



*Figura 75. Circuito 3D.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.11. Especificaciones técnicas del sensor.

#### Especificaciones eléctricas de entrada.

Potencia:	30 W.
Voltaje:	220 VAC.
Corriente:	0.15 – 2 A
Sistema:	Monofásico.
Frecuencia	60 Hz.



### **Especificaciones eléctricas de salida.**

Voltaje:	1A - 220 VAC/ 2A – 120 VDC
Máximo voltaje:	250 VAC / 125 VDC
Máxima corriente de contacto:	2 A
Potencia máxima de contacto:	125VA/60 W.
Tipo:	contactos de relé.
Nro. de salidas:	2
Rango de temperatura de relé:	-30°C a 70°C.

### **Especificaciones de acoplamiento resonante y bobinas transmisoras y receptoras.**

Frecuencia de resonancia:	200-600Khz
Material de bobinas:	Cobre esmaltado de 0.5 mm.
Protección de bobinas	Resina acrílica.

### **Especificaciones del sistema de control.**

Procesamiento:	Circuitos integrados Multivibradores monoestables, TTL y Cmos.
Velocidad de procesamiento:	20Mhz.

### **Especificaciones del módulo.**

Tipo de case:	IP 66
Tipo de Sensor:	Discreto.
Naturaleza:	detección por campos magnéticos.

## CAPÍTULO IV

### DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

#### 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

En base a toda la información recopilada antes y durante el desarrollo del presente proyecto, se procedió a desarrollar un correcto análisis para la implementación de forma óptima la solución planteada a la ruptura de fajas longitudinales en procesos de transporte de material en industria, para lo cual desde el inicio del planteamiento hasta la culminación, se tomó en cuenta algunas etapas específicas para la solución al problema, puntos adversos a analizar sobre el desarrollo, los costos de producción que conlleva el equipamiento y la comparación de costos con soluciones similares.

##### 4.1. Etapas de implementación del proyecto.

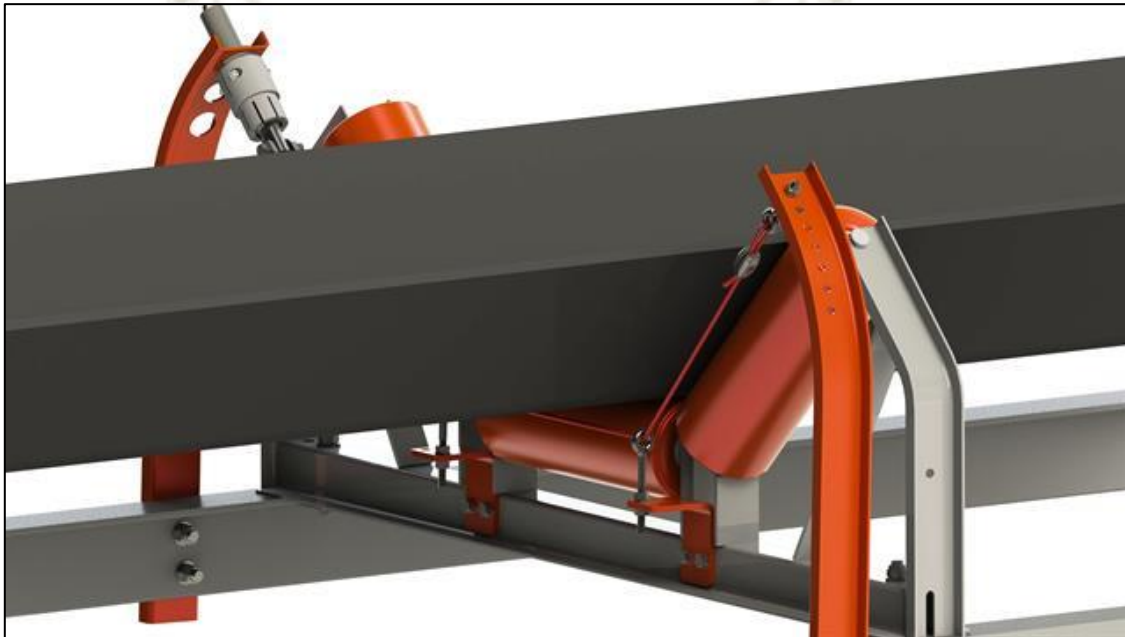
##### 4.1.1. Recopilación de información del problema en el proceso de transporte en fajas.

En la actualidad, la utilización de fajas transportadoras es importante para la industria, a lo cual su trabajo constante es vital en toda industria que utilice este medio de transporte. Para optar por el desarrollo de este proyecto, se tuvo la certeza de que, en el ámbito industrial minero, se dieron dos casos particulares de ruptura de fajas transportadoras, el primero en el sistema de distribución de materiales en la empresa TISUR, en el puerto de Matarani - Arequipa, en el cual una roca de tamaño considerable quedo atorada en un chute de transferencia y empezó a rasgar la faja, a lo cual se dieron cuenta una vez que el material no llegaba a su destino.

Un segundo caso se dio en la minera Antapaccay en el departamento de Cusco, en el cual una pieza mecánica se desprende de la soportería o estructura y rasga la faja, de manera longitudinal, en este caso fue más tardía la respuesta ya que la faja principal que lleva el material de chancado primario al primer Stock Pile mide 6.5 Km. aproximadamente, y del mismo

modo, se dieron cuenta cuando el material no llegaba al Stock pile del chancado secundario.

En ambos casos los sistemas de detección de ruptura de fajas “banda rota” no actúan ya que las fajas no caen, sino que siguen su recorrido por no tener un corte transversal.



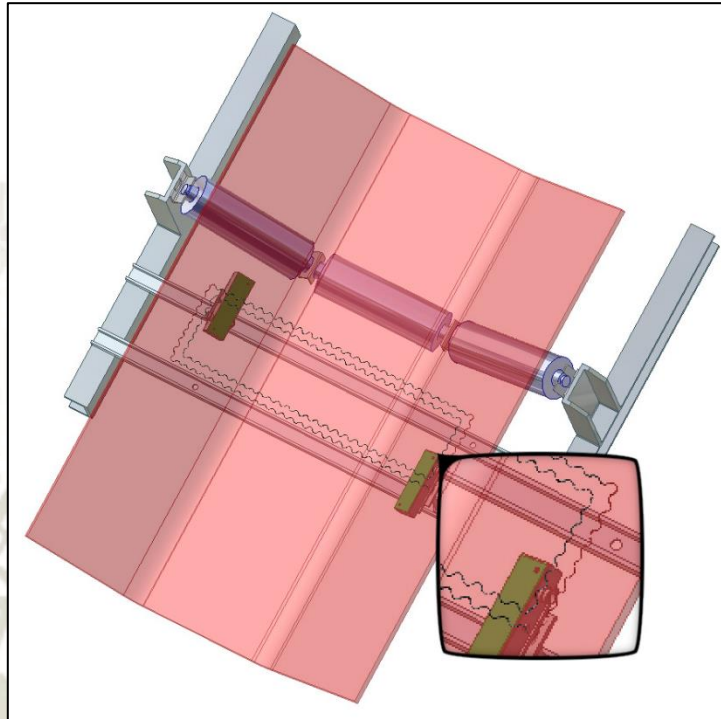
*Figura 76. Sensor de banda rota.  
Fuente: Biblioteca Beltec-conveyor solution*

#### **4.1.2. Búsqueda de métodos de solución.**

A este nuevo problema suscitado en algunas industrias, la búsqueda de solución fue necesaria e inmediata, a lo cual muchas empresas a solicitud fueron buscando opciones en instrumentación y detección de fallas, siendo pocas o nulas las soluciones a este problema, las empresas que contaban con soluciones optimas aprovecharon en distribuir sus productos a altos costos, lo cual limita a empresas de bajos recursos a no poder implementar las soluciones existentes, por lo cual se toma la decisión de desarrollar sensórica



capaz de dar solución al problema de ruptura de fajas pero a un costo accesible y menor.



*Figura 77. Sensores de ruptura existentes.  
Fuente: Biblioteca Coal control Solution*

#### **4.1.3. Elección de solución y tecnología empleada.**

Ya que cada empresa maneja un KNOW HOW, es imposible copiar una tecnología, para lo cual se hizo una investigación de posibles soluciones para el problema en mención, siendo un punto en contra el tipo de proceso, las fajas transportadoras siempre están en movimiento y se tenía que buscar una solución que sea aplicable a un objeto en movimiento, para lo cual se tendría que aplicar o sensor alguna magnitud sin necesidad de tener contacto con la faja. En esta parte se adopta la solución de otras empresas de incorporar bucles en la faja.

Un poco de investigación dio como resultado el encontrar la solución en trabajar con campos magnéticos, los cuales no necesitan medio físico para su detección. Y de este modo desarrollar un KNOW HOW propio.

#### 4.1.4. Diseño de solución.

Basado en tecnologías de transmisión de energía inalámbrica, y su amplio desarrollo en los últimos años, se optó por desarrollar un sensor basado en circuitos resonantes, con los cuales podríamos transportar energía por campos magnéticos de un emisor a un receptor.

Claro que entre el emisor y receptor debe haber un medio de transporte del campo magnético, y para tal caso se desarrolló un bucle resonante que es móvil y que va en la faja transportadora.

El método de fijación del bucle puede ser de distintos modos, uno en el cual se solicite a las empresas fabricantes de fajas que incluyan estos bucles en su fabricación, lo cual sería una solución a largo plazo. Aplicar una solución a corto plazo sería añadir los bucles en las fajas existentes por medios de vulcanización, el mismo método que utilizan para el parchado de fajas transportadoras.



*Figura 78. Método de vulcanizado de fajas.  
Fuente: Archivo fotográfico Kingdom Solutions*

#### **4.1.5. Método de solución.**

El método es la transmisión de energía por circuitos resonantes. En una primera etapa se manipula la energía eléctrica para generar un campo electromagnético en el emisor, este campo magnético debe ser detectado por el receptor, pero los dos están ubicados alejados uno del otro, por lo cual necesitan de un medio de transporte del campo electromagnético, para lo cual usamos el bucle resonante, que funciona como un espejo, reflejando el campo de emisor a receptor. En el receptor trabajamos con la señal recibida y es en esta etapa en la cual se desarrolla el tratamiento de señal, es decir que cada vez que el receptor recibe un pulso de campo electromagnético, el encargado de cerrar el relé de salida y mantenerlo activo son los circuitos monoestables, los cuales a pesar de que en ciertos momentos el receptor no reciba señal de campo electromagnético, sigan generando señal de salida positiva, el relé se apagará una vez que el receptor no reciba señal de campo electromagnético durante un periodo de tiempo prolongado, esto sucede en el caso de que la faja este cortándose o rasgándose en algún punto, los bucles se cortan con la faja, y ya no funcionan como espejos, entonces el receptor no recibirá señal alguna. Estos tiempos son modificables, de acuerdo a la distancia entre bucles.

#### **4.1.6. Normativas utilizadas para el proyecto.**

Para el diseño y futura aplicación se tomó en cuenta todos los aspectos de la normativa CEMA, en la cual indican en su capítulo 11 (limpiadores de fajas y accesorios) el uso de instrumentación en fajas transportadoras y posibles problemas de rupturas, todo el manual CEMA está relacionado al funcionamiento estructural, mecánico, eléctrico e instrumental de fajas transportadoras de materiales granulados, a continuación mencionaremos un fragmento de su normativa con respecto a ruptura de fajas longitudinales.



Fuente: Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), Engineering Conference, Belt conveyors for bulk materials. [23].

### **Sistemas de detección de rasgaduras**

Las cintas transportadoras son susceptibles a cortes y pinchazos. Incluso una pequeña abertura a través de la cinta puede causar problemas importantes que provoquen el fallo del sistema. En el peor de los casos, se puede cortar una cinta longitudinalmente o transversalmente provocando una falla catastrófica y una interrupción importante.

### **Definición**

Un detector de rotura de la cinta es un accesorio del transportador que utiliza un interruptor o sensor diseñado para detectar daños en la cinta, incluidos desgarros, roturas y perforaciones.

### **Recomendación de CEMA**

- Se debe colocar un detector de rotura en cada transportador donde exista la posibilidad de que un sólido a granel o estructura metálica penetre la faja y cree un desgarro en la faja.
- El detector de rasgaduras tendrá mejor posición en el recorrido del transporte de la faja inmediatamente después del punto donde el sólido a granel se carga en la cinta. (chute de transferencia).
- En transportadores donde existe la posibilidad de que ocurra un desgarro en múltiples ubicaciones y por una amplia variedad de razones es por las que se debe considerar el uso de una cinta especial con un sistema de detección de ruptura incorporado.

Hay una amplia variedad de detectores de rasgaduras y roturas. Algunos son accesorios independientes y algunos son parte integral de la cinta, dependiendo de las aplicaciones. La teoría de funcionamiento varía desde simples dispositivos de cable de disparo hasta sofisticados sistemas electrónicos. Hay varias formas en que la faja pueda ser penetrada o cortada, por lo que es importante seleccionar un dispositivo que detecte el problema que genera la ruptura de fajas. Por ejemplo, si está transportando una carga con un valor unitario alto, cualquier agujero en la cinta causará la pérdida de una valiosa cantidad de producto. En este caso, es posible que el usuario desee saber si la cinta ha sido penetrada, ya que a futuro es posible que ese evento termine rasgando o cortando el cinturón.

En otras aplicaciones como la fragmentación de agregado, los fragmentos afilados perforan rutinariamente la cinta, generando agujeros. En esta aplicación es tan común que buscar y reparar estos agujeros es una prioridad en el mantenimiento preventivo. En este caso, es más importante detectar una rotura mayor que un agujero pequeño. [23].

## **4.2. Puntos a analizar en el desarrollo del proyecto.**

### **4.2.1. Material adecuado para el bucle resonante.**

Para la elección del material se tomó en cuenta dos puntos específicos, la alta conductividad del material y la flexibilidad. Por lo cual el material ideal para el desarrollo del bucle es el cobre, por su alta capacidad de transporte de electrones, lo que lo convierte en un emisor de campo electromagnético de alto rendimiento. Ya que el bucle es la unión de dos bobinados, el cobre utilizado tiene que ser de tipo esmaltado, el cual es utilizado en cualquier aplicación que contenga bobinados.

El cobre esmaltado viene en diferentes calibres, y lo ideal es utilizar calibres pequeños para aprovechar su alta flexibilidad.

#### **4.2.2. Tipos de fajas transportadoras.**

En capítulos anteriores se mencionó algunos tipos de fajas existentes. Cabe resaltar que esta solución no es aplicable para todos los tipos de fajas transportadoras, se puede aplicar solo en aquellas fajas que vayan sobre rodillos o polines, por los cuales se distribuya una faja durante todo su recorrido, la más adecuada es la faja de tipo Belt Conveyor. No es necesario tomar en cuenta el tipo de transmisión de movimiento de la faja.

#### **4.2.3. Material de faja transportadora.**

En este caso es muy necesario o recomendable que la faja sea de material caucho ya sea puro o con alma de acero.

#### **4.2.4. Tipos de proceso.**

Se debe tomar en cuenta mucho el tipo de proceso, es recomendable su aplicación en procesos largos, por ejemplo, fajas mineras, los cuales no es posible la supervisión visual en toda la extensión de su faja.

#### **4.2.5. Distancia entre fajas.**

En este punto nos referimos a la distancia que existe entre el recorrido de la faja y su retorno que es paralelo por lo general. Se debe tener un espacio mínimo para fijar los emisores y receptores en la parte posterior por donde es transportado el material.

### **4.3. Costo de fabricación e implementación.**

En esta etapa se desarrolla una estimación económica de la fabricación del sensor y los bucles resonantes, de igual modo la implementación de la solución en un proceso industrial.



#### 4.3.1. Fabricación de instrumento.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Componentes electrónicos	Glb.	1.00	50.00	S/. 50.00
Disipadores de calor	Und.	1.00	5.00	S/. 5.00
Transformador	Und.	1.00	30.00	S/. 30.00
Placas de baquelita y quemado	Und.	1.00	30.00	S/. 30.00
Cables para emisor y receptor	Glb.	1.00	30.00	S/. 30.00
Resina epóxica	Litro.	1.00	30.00	S/. 30.00
Terminales	Und.	5.00	5.00	S/. 25.00
Ferretería en general	Glb.	1.00	30.00	S/. 30.00
Case	Und.	1.00	20.00	S/. 20.00
<b>TOTAL SENSOR, EMISOR Y RECEPTOR</b>				<b>S/. 250.00</b>

*Tabla 5. Costos de sensor.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.3.2. Fabricación de bucle resonante.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Cables de cobre esmaltado	Glb.	1.00	20.00	S/. 20.00
Ferretería en general	Glb.	1.00	5.00	S/. 5.00
<b>TOTAL BUCLE RESONANTE X UNIDAD</b>				<b>S/. 25.00</b>

*Tabla 6. Costos de fabricación de bucle.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.3.3. Instalación de bucle resonante.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Pegamentos, material vulcanizante, ferretería en general	Glb	1.00	150.00	S/. 150.00
<b>TOTAL MATERIALES E INSUMOS X UNIDAD</b>				<b>S/. 150.00</b>

*Tabla 7. Costos de instalación de bucle.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.3.4. Costos de mano de obra/día trabajado.

##### 1. ESTRUCTURA DE PRECIO DE MANO DE OBRA

REMUNERACIONES	CANTIDAD PERSONAL	PRECIO H/H	HORAS REQUERIDAS	PRECIO
<b>Horas normales</b>				
Supervisor Campo	1.00	40.00	8.00	S/. 320.00
Supervisor Seguridad	1.00	40.00	8.00	S/. 320.00
Técnico E/I	3.00	25.00	8.00	S/. 600.00
<b>TOTAL MANO DE OBRA X DIA TRABAJADO</b>				<b>S/. 1,240.00</b>

Tabla 8. Costos de mano de obra.

Fuente: Elaboración propia.

##### 2. UNIFORME E IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

UNIFORME/IMPLEM. DE SEGURIDAD	CANTIDAD	VIDA UTIL (MESES)	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Casco	5.00	6.00	25.00	S/. 20.83
Lentes de seguridad uvex	5.00	0.75	10.00	S/. 22.22
Chaleco con faja reflectiva	5.00	6.00	15.00	S/. 12.50
Zapatos de seguridad dieléctricos 20 kv.	5.00	6.00	60.00	S/. 16.67
Uniforme antifiama	5.00	6.00	800.00	S/. 222.22
Tapones de oído	5.00	0.75	5.00	S/. 11.11
Lock out: candado, pinza, tarjeta	5.00	6.00	30.00	S/. 25.00
Gautes	5.00	0.75	15.00	S/. 33.33
Respirador	5.00	0.75	5.00	S/. 11.11
Barbiquejo para casco	5.00	0.75	5.00	S/. 33.33
<b>TOTAL UNIFORME/IMPLEM. DE SEGURIDAD</b>				<b>S/. 408.33</b>

Tabla 9. Costos de EPP.

Fuente: Elaboración propia.

##### 3. EQUIPOS, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS PARA EL SERVICIO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DEPRECIACION (Años)	PRECIO UNIT. (DIA)	TIEMPO USO (DIAS)	PRECIO
Maleta de herramientas.	1.00	1.00	100.00	1.00	S/. 100.00
Escalera tijeral 7p	1.00	2.00	25.00	1.00	S/. 25.00
Herramientas eléctricas	1.00	2.00	100.00	1.00	S/. 100.00
Extensión eléctrica	1.00	1.00	20.00	1.00	S/. 20.00
Máquina de vulcanizado	1.00	2.00	200.00	1.00	S/. 200.00
Grupo electrógeno	1.00	2.00	100.00	1.00	S/. 100.00
Medidores de temperatura	1.00	2.00	50.00	1.00	S/. 50.00
<b>TOTAL EQ. MAQ. HERRAMIENTAS X DIA</b>					<b>S/. 595.00</b>

Tabla 10. Costos equipos maquinarias y herramientas.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN Y MARCA	CANTIDAD	AÑO FABRICACION	TIEMPO- DIAS	PRECIO/DIA	PRECIO
CAMIONETA 4X4 PICK UP	1.00	2020	1.00	250.00	S/. 250.00
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>					<b>S/. 250.00</b>

*Tabla 11. Costos de transporte de personal.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### 5. DIVERSOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DIAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Alimentación de personal	5.00	1.00	15.00	S/. 75.00
<b>TOTAL DIVERSOS</b>				<b>S/. 75.00</b>

*Tabla 12. Costos de alimentación.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### RESUMEN

RUBRO	PRECIO
1. REMUNERACIONES	S/. 1,240.00
2. EQUIPO DE PROTECCION DE SEGURIDAD	S/. 13.61
3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	S/. 595.00
4. TRANSPORTE	S/. 250.00
5. DIVERSOS	S/. 75.00
<b>COSTOS DEL SERVICIO (1+2+3+4+5) X DIA</b>	<b>S/. 2,173.61</b>
GASTOS ADM. Y GASTOS. GENERALES AL 12%	S/. 260.83
UTILIDAD AL 12 %	S/. 260.83
<b>PRECIO TOTAL DEL SERVICIO/OBRA (7+8+9) X DIA</b>	<b>S/. 2,695.28</b>

*Tabla 13. Resumen de costos.  
Fuente: Elaboración propia.*

Los cuadros mostrados anteriormente muestran dos tipos de costos, las primeras tablas (tabla 5, 6 y 7) muestran costos unitarios de fabricación de sensores bucles e instalación de bucles.

Las tablas 8, 9, 10, 11 y 12 muestran los costos de instalación por día trabajado.

La tabla 13 muestra el total de servicio por día trabajo, esto no incluye costo de sensor ni bucles resonantes.

A continuación, haremos referencia de un presupuesto para 1Km de faja, considerando que cada bucle este separado 10 metros uno del otro, y poniendo un sensor de emisor y receptor cada 100 metros.



**COSTO PARA 1 KM DE FAJA.**

DESCRIPCIÓN	CANTIDA	COSTO X UNIDAD	PRECIO
SENSORES (1 CADA 100 METROS)	10.00	250.00	S/. 2,500.00
BUCLES (1 CADA 10 METROS)	100.00	20.00	S/. 2,000.00
MATERIAL PARA VULCANIZAR	100.00	150.00	S/. 15,000.00
TOTAL COSTO POR 1 Km DE FAJA			S/. 19,500.00

*Tabla 14. Costos para 1 km de faja.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**4.4. Comparación de costos con proyectos existentes.**

Como se indica en los objetivos de este trabajo de tesis, un punto importante del desarrollo de este proyecto es la reducción de costos de instrumentación para la industria,

Cabe señalar que no se puede hacer una comparación de presupuestos de ejecución, ya que cada empresa que ejecuta estos proyectos maneja diferente formato de expediente económico, pero el margen de variación es relativamente cercano al presentado en la tabla 13 (Resumen de costos de elaboración por día).

Solo desarrollaremos la comparación de costos de tecnología existente (precios de equipos utilizados de la marca Coal Control), con respecto a los costos de fabricación obtenidos en el presente trabajo, tabla 14 (Precios de implementación para 1 km de faja).

Se obtuvo dos fuentes de información, las cuales mencionaremos a continuación:

- Primero se realizó una búsqueda en internet, para ver la existencia de datos en la red, lo cual nos llevó a encontrar información de aduanas, la cual refiere a ingresos de esta tecnología, adquirida y distribuida por Kingdom Solution S.R.L. que es una empresa arequipeña, que brinda servicios de instrumentación a diferentes compañías mineras del sur del Perú. A continuación, mostramos la información obtenida.

Partida Aduanera 9031809000 LOS DEMAS INSTRUMENTOS, APARATOS Y MAQUINAS DE MEDIDA DE CONTROL, EXCE											Cerrar x
N°	Fecha	Partida Aduanera	Importador	KG. Neto	Cantidad	Unid.	US\$ FOB unit	US\$ CIF unit	US\$ CIF Unit + Taxes	País Origen	Descripción Comercial
1	5/07/2019	9031809000	KINGDOM SOLUTIONS S.R.L.	203	2	U	31,018.400	32,233.555	32,233.555	GERMANY	SISTEMA DE DETECCION DE CORTE,COAL CONTROL,BPS-A2-M3G, 12 CABLE DE CONEXION CC412112 SOPORTE DE MONTAJE,8 CAJAS DE CONEXION,04 INTERRUPTOR DE AP 1 ENCODER ROTATIVO TIPO CC-RE1024.5, 3 SOPORTE DE MONTAJE TIPO BPS-MBX2 INCLUYE 6 TRANSMISOR TIPO BPS-TX/8, 6 TRANSMISOR TIPO BPS-TX/8, 6 RECEPTOR TIPO BPS-RX/8
2	25/07/2019	9031809000	KINGDOM SOLUTIONS S.R.L.	5	4	U	1,545.350	1,585.780	1,585.780	GERMANY	MÓDULO AI-PB COAL CONTROL MODELO:AI-PB PARA CONTROLADOR DE SEGURIDAD INTRINSECO TIPO ACS-A1 UNIDADES CC2008

*Figura 79. Costo de importación de tecnología existente.  
Fuente: Aduanas Perú.*

En la imagen anterior se observa que la empresa Kingdom Solution trae al Perú un total de dos cargas, cada cual constituye 1 sistemas de detección, 6 transmisores, 6 receptores y ferretería en general, que, asemejando al sistema propuesto en esta tesis, equivaldría para 1 km de faja. Cada global tiene el costo de \$ 32 233.555 (Dólares Americanos), adicionando la segunda carga, se obtiene el costo total de \$ 70 810.23 (Dólares Americanos),

Comparando con el costo presentado en la Tesis, que es de S/. 19 500 (nuevos soles), y convirtiendo en dólares (a 3.5 nuevos soles por dólar), nuestra propuesta es de \$ 5 572.00 (Dólares americanos).

El costo de implementación seria casi la décima parte del costo en referencia a la tecnología existente.

Como sabemos, las empresas elevan el precio de venta al usuario final, así que es costo aumenta dependiendo del usuario.

Fuente: <https://www.veritradeCorp.com/es/peru/importaciones-y-exportaciones-kingdom-solutions-srl/ruc-20455573328>

- La segunda información obtenida, son los costos unitarios por equipo que Sociedad Minera Cerro Verde pagó a Kingdom Solution, por la venta de equipos para implementar en chancado terciario de Concentradora 2.

40257456	COALCONT	CC2004	MODULE, A1-DFI	\$ 3,228.00
40257458	COALCONT	CC2005	MODULE, A1-DO	\$ 2,520.00
40257468	COALCONT	CC4111.1	RECEIVER, SENSOR, MODEL: BPS-RX/8,	\$ 6,280.00
40257469	COALCONT	CC4101	TRANSMITTER; TYPE BPS-TX/7	\$ 6,280.00
40257489	COALCONT	CC4050	CONNECTOR, ANGLE MALE 7-PIN	\$ 70.00
40257490	COALCONT	CC2000	MODULE, A1-CPU	\$ 3,980.00
40257491	COALCONT	CC2008	MODULE, A1-BPS	\$ 3,500.00
40257536	COALCONT	CC1002.1	BRACKET, MOUNTING, TYPE BPS-MBX	\$ 1,000.00
40495693	COALCONT	CC1003.1	PROXIMITY SWITCH, TYPE NI15	\$ 500.00
40523111	COALCONT	CC4040	POWER SUPPLY, TYPE BPS-A1-PS/12V	\$ 900.00
40523112	COALCONT	CC4041	POWER SUPPLY, TYPE BPS-A1-PS/24V	\$ 900.00
40541232	COALCONT	RC-MD	TARJETA SINCRONIZACION DETECTOR METALES	-
40541252	COALCONT	CC4012.1	INDUSTRIAL PANEL PC, HMI	-

*Figura 80. Costo unitario vendido a SMCV por Kingdom Solution.*

*Fuente: Archivo de SMCV.*

Solo considerando las cantidades presentadas anteriormente ingresadas por Aduanas Perú, se obtiene que Kingdom Solution vende a SMCV, los equipos para un tramo de 1 km de faja aproximadamente al precio de \$ 120 000 (Dólares americanos), siendo nuestro costo de fabricación la vigésima parte de lo que le cuesta a SMCV.

Como ya se indicó, el costo de implementación varía según la empresa contratista que brinde el servicio.

De esta manera demostramos que el costo de fabricación de nuestra tecnología es mucho más económico que las soluciones actuales, considerando los datos obtenidos.



## CAPÍTULO V

### IMPLEMENTACIÓN DE MODULO

#### 5. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO A ESCALA.

En este capítulo se describe la implementación de un módulo a escala el cual servirá para la demostración del funcionamiento del sensor de ruptura longitudinal, para lo cual se tomará en cuenta 3 etapas de construcción. Etapa instrumental, etapa eléctrica y etapa mecánica.

Para el correcto funcionamiento del módulo, este debe seguir algunas especificaciones técnicas:

- Debe ser de fácil transporte dentro y fuera de cualquier instalación utilizada para el desarrollo didáctico del alumnado de la escuela profesional de ingeniería electrónica.
- Debe ser de materiales livianos, para facilitar el transporte y la construcción del módulo.
- Debe estar debidamente etiquetado para su fácil operatividad.
- Debe contar con las medidas de seguridad eléctrica básicas para evitar accidentes inesperados.
- El módulo funciona con tensión comercial de 220 VAC.

##### 5.1. Etapa Instrumental.

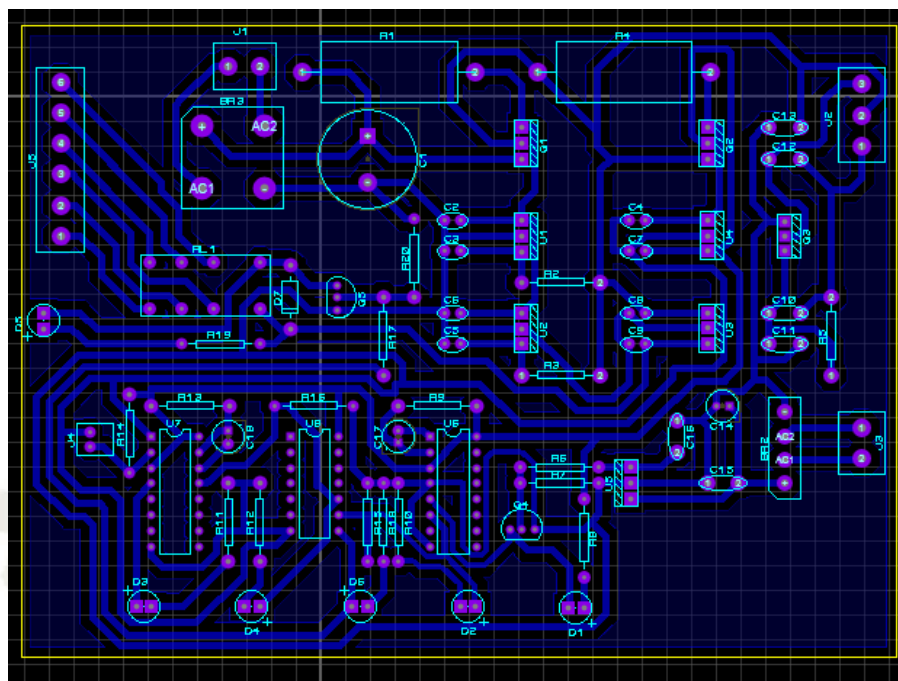
En esta etapa explicamos paso a paso la implementación del sensor y sus bobinas emisoras, tener en cuenta que en el capítulo 3 ya se explicó detalladamente la construcción de hardware.

Para una mayor comprensión seguiremos una secuencia de sucesos de construcción.

##### 5.1.1. Diseño e impresión del esquema del circuito.

La impresión de circuito en su totalidad se trabajó en el programa MULTISIM, desde el diseño hasta su culminación.

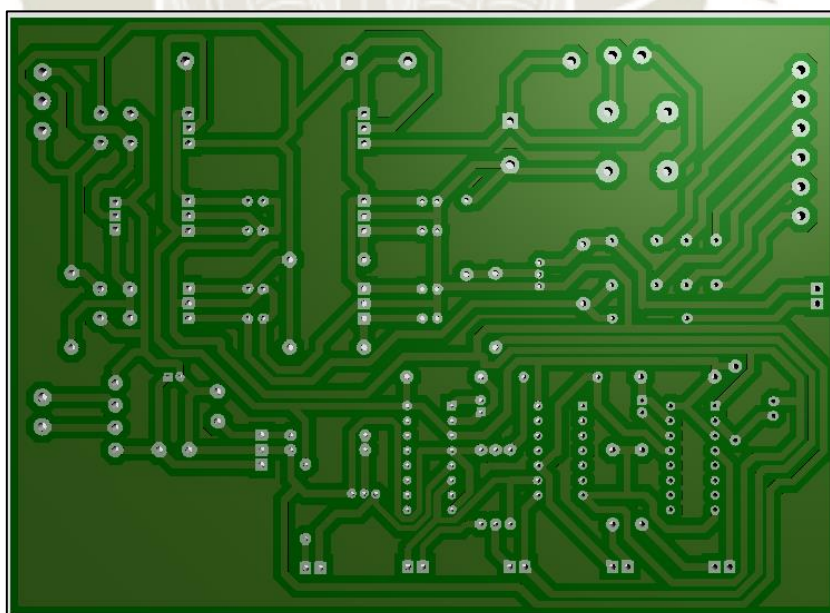
En la Figura 81 se muestra la creación de la placa en el software MULTISIM.



*Figura 81. Diseño de Placa en MULTISIM.*

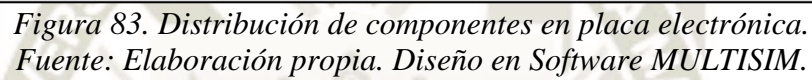
*Fuente: Elaboración propia. Diseño en Software MULTISIM.*

En el mismo software se puede visualizar como quedaría la placa (figura 82) e incluso la distribución de componentes (figura 83) en la placa electrónica.



*Figura 82. Diseño final de placa en MULTISIM.*

*Fuente: Elaboración propia. Diseño en Software MULTISIM.*

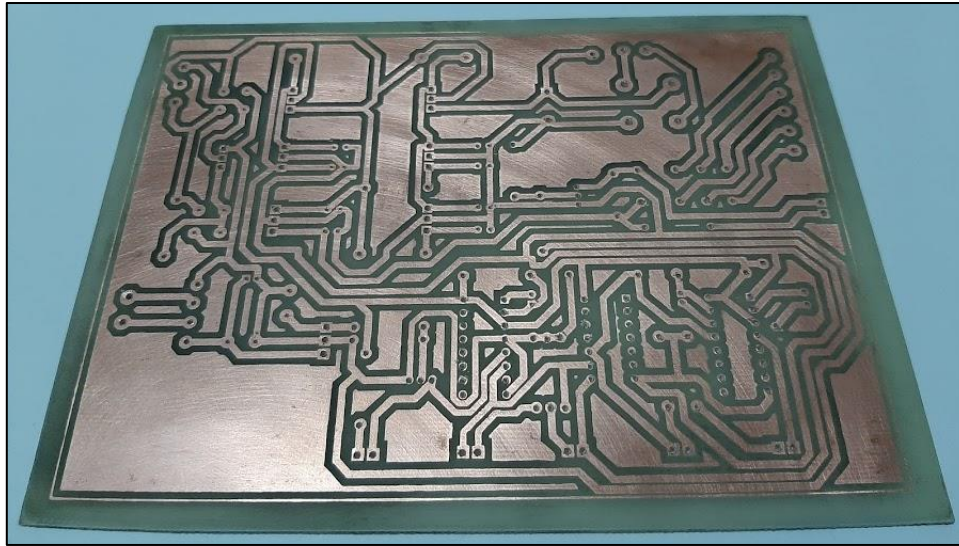


A complex, high-contrast black and white graphic resembling a circuit board or a dense network of interconnected lines and nodes, set against a solid black background. The design features a multitude of white lines of varying thicknesses that form a dense, intricate web. These lines are punctuated by small white circles, which could represent solder points, vias, or data nodes. The overall structure is non-representational, appearing as a chaotic yet organized pattern of paths and junctions. The lines often run parallel to each other before branching or merging, creating a sense of flow and connectivity. The composition is filled with these elements, leaving very little of the black background visible, which emphasizes the complexity and density of the white network.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos  
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



A continuación, se procede con el quemado mediante ácido.



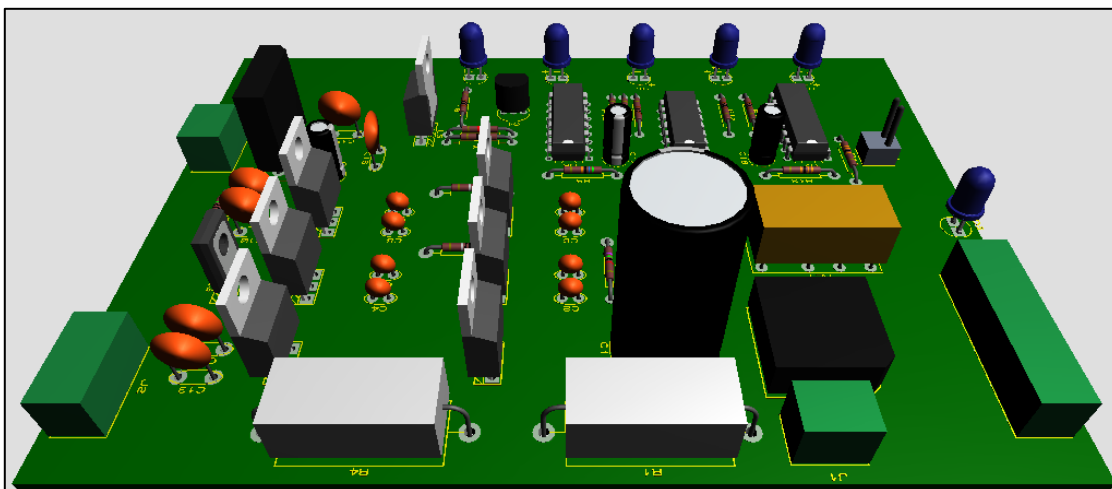
*Figura 85. Placa quemada en baquelita.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **5.1.2. Elaboración de circuito electrónico.**

Una vez que tenemos la placa electrónica se procede al soldado por medio de estaño de los componentes electrónicos, siguiendo algunas indicaciones:

- Tener mucho cuidado en no sobrecalentar los componentes.
- Guiarse por el esquema de distribución de componentes mostrados en la figura 83.
- Seguir un orden según el diseño del capítulo 3, para evaluar en cada etapa si el circuito funciona correctamente.

En la figura 86 se muestra como se ve el circuito según MULTISIM.



*Figura 86. Circuito electrónico según software MULTISIM.  
Fuente: Elaboración propia. Diseño en Software MULTISIM.*

Finalmente siguiendo los consejos anteriores mostramos el circuito electrónico concluido.



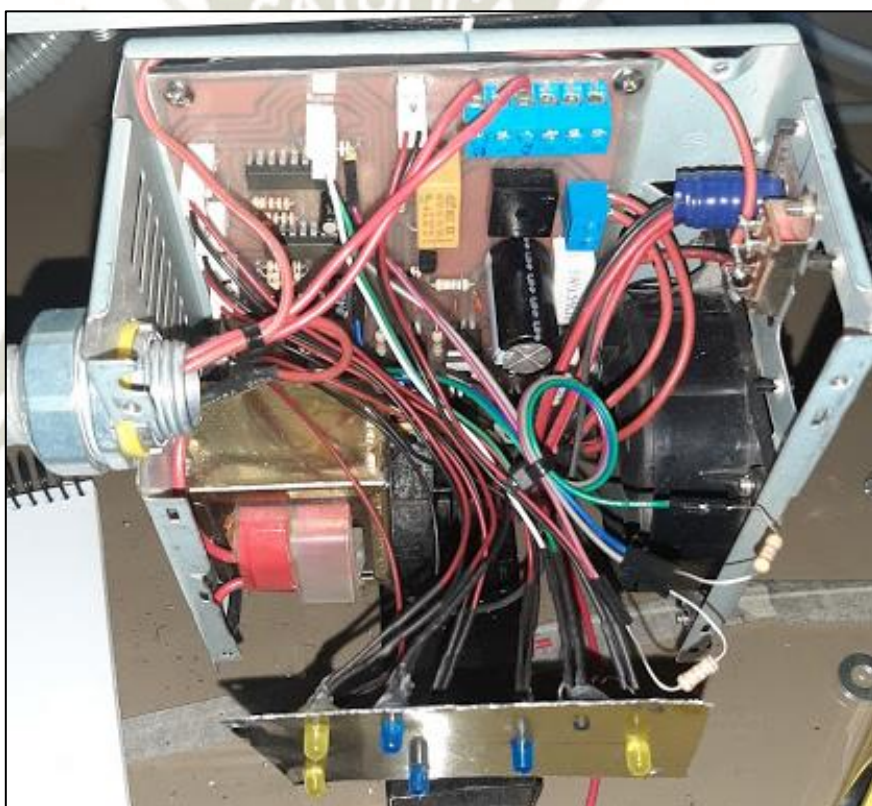
*Figura 87. Circuito electrónico construido.  
Fuente: Elaboración propia.*



### 5.1.3. Implementación del circuito en un case.

Una vez que tenemos el circuito electrónico, este debe ser dispuesto en un contenedor o case, para nuestro caso las medidas del case son de 15x14x8.5 cm. que idealmente debería contar con IP 65, por tratarse de un instrumento de campo.

En la figura siguiente se ve como están distribuidos los componentes dentro del case.



*Figura 88. Distribución de componentes del sensor.  
Fuente: Elaboración propia.*





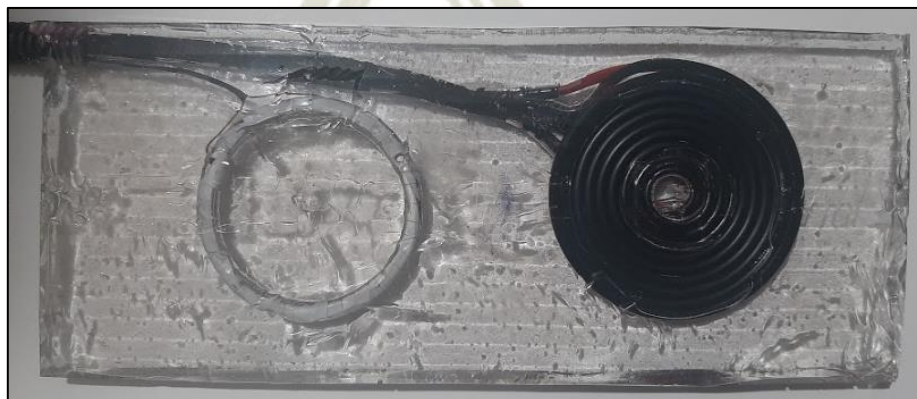
*Figura 89. Sensor concluido y fijado a la estructura.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **5.1.4. Distribución de bobinas emisoras y receptoras.**

Dos instrumentos que no van dentro del case son las bobinas emisoras y receptoras, que para casos aplicativos tendría que ir separados y distribuidos de acuerdo al ancho de la faja.

Para nuestro modulo, ya que el ancho de la faja es de 15 cm. las dos bobinas fueron dispuestas en un solo bloque.

Por fines de protección y mayor robustez, las bobinas fueron protegidas por resina acrílica, la cual también sería utilizada para casos prácticos.



*Figura 90. Bobinas emisora y receptora dentro de encapsulad de resina.  
Fuente: Elaboración propia.*

## 5.2. Etapa Eléctrica.

Una parte fundamental para el funcionamiento del módulo es la etapa eléctrica, la cual hará que un motor sea alimentado por una tensión de 110VAC y este a su vez haga girar la faja transportadora.

En esta etapa distinguiremos dos elementos eléctricos fundamentales para el funcionamiento del módulo, uno es el motor y el otro es el tablero eléctrico.

### 5.2.1. Motor eléctrico.

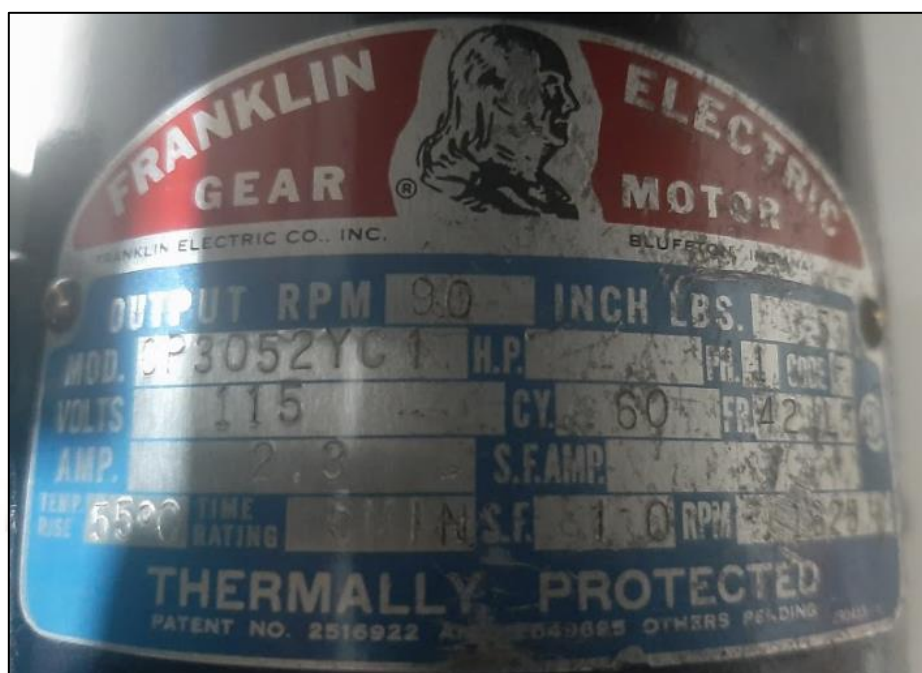
El motor eléctrico es la pieza fundamental para el movimiento de la faja transportadora, la transmisión del motor al polín principal es por medio de poleas, de este modo se entrega energía cinética para producir el giro de la faja.

Para implementar el módulo se utilizó un motor FRANKLING ELECTRIC, ya que estos motores cuentan con la característica de traer incorporado un reductor de rpm y de este modo el giro es controlado.



*Figura 91. Motor con reductor FRANKLING ELECTRIC.*

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 92. Placa del motor FRANKLIN ELECTRIC.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Características más importantes:

- Modelo del motor: CP3052YC1
- Voltaje de alimentación: 110-115 VAC.
- Corriente de trabajo: 2.3 A.
- Frecuencia: 60 Hz.
- HP: 1 hp.
- RPM del eje del motor: 1625 rpm.
- RPM de salida (reductor): 90 rpm.
- Torque: 53 libras x pulgada



### 5.2.2. Tablero eléctrico.

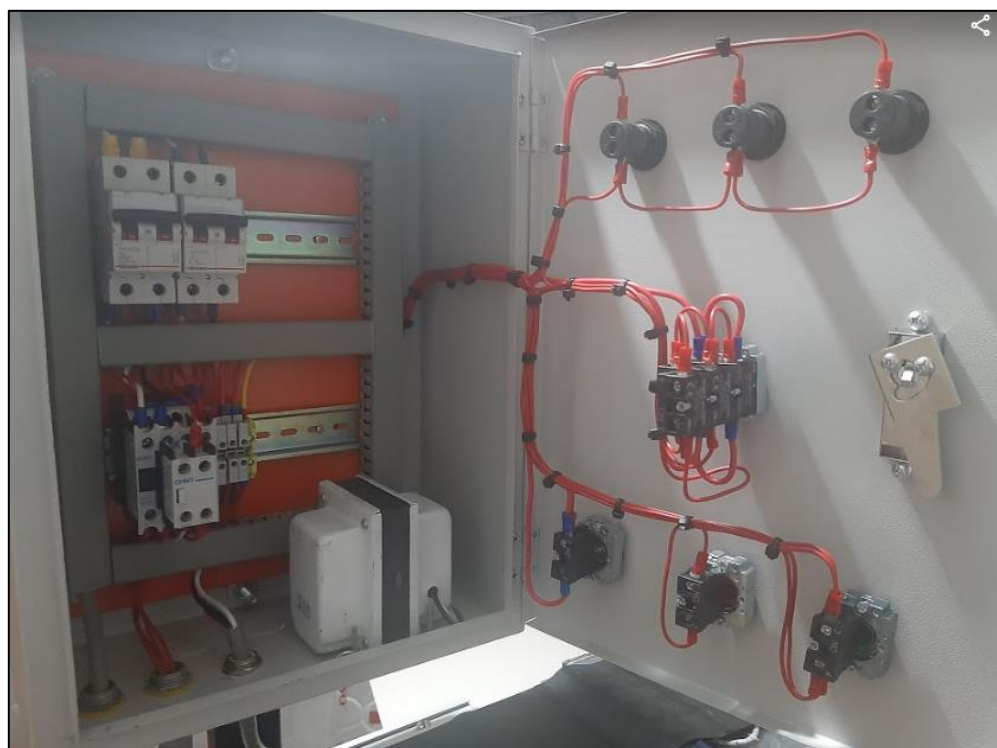
El tablero eléctrico también viene a ser parte fundamental para el funcionamiento de cualquier proceso eléctrico, dentro del tablero implementado tenemos una etapa de control y una etapa de fuerza.

A continuación, enumeramos algunas características físicas del tablero de control:

- Altura: 40 cm.
- Ancho: 30 cm.
- Profundidad: 15 cm.
- Material: metal.



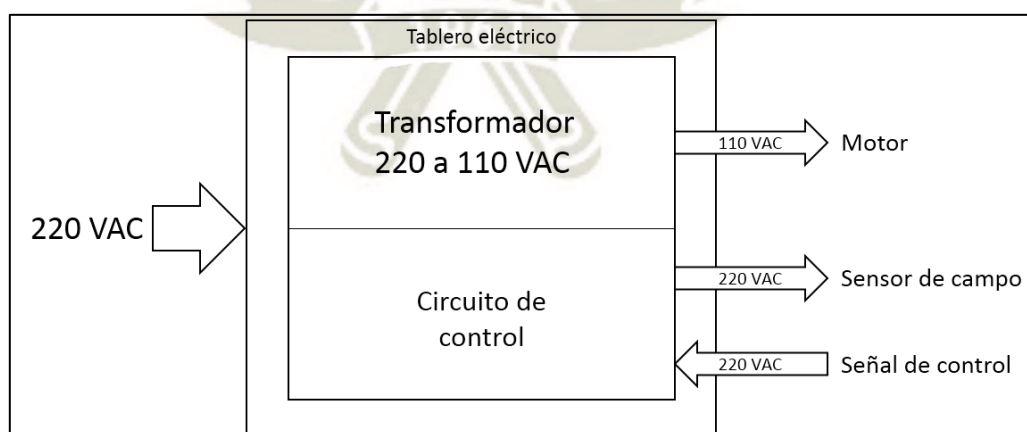
*Figura 93. Parte exterior de tablero eléctrico.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 94. Interior del tablero eléctrico.  
Fuente: Elaboración propia.*

El tablero de control eléctrico se ubica a un costado de la faja, fijada a la estructura de aluminio.

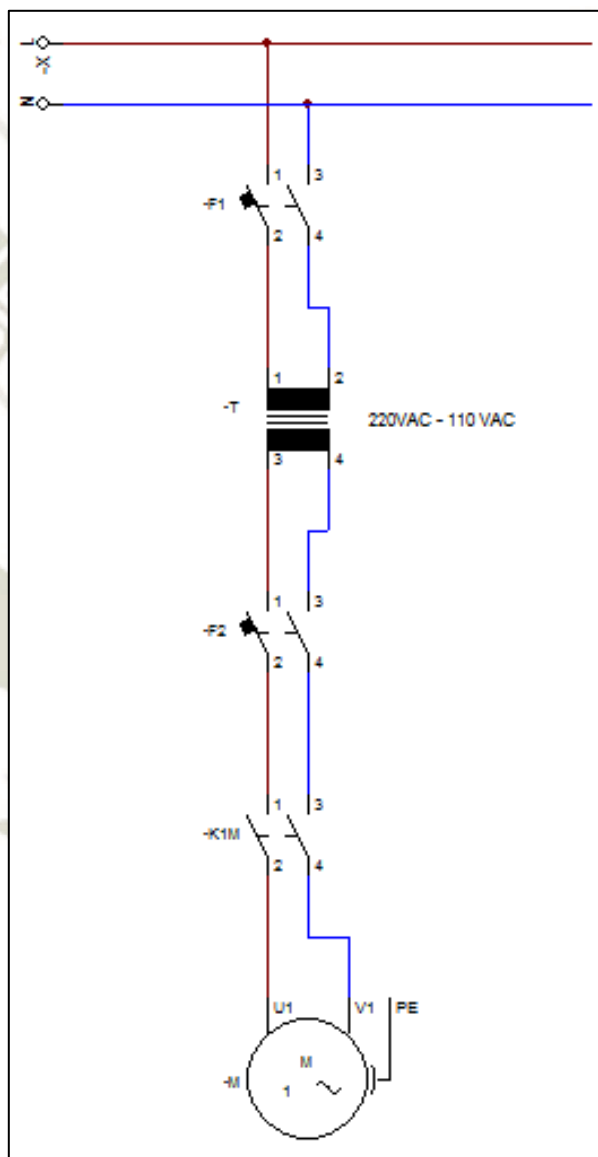
A continuación, mostramos un diagrama de bloques del tablero eléctrico.



*Figura 95. Diagrama de bloques tablero eléctrico.  
Fuente: Elaboración propia.*

### Circuito de fuerza.

El circuito de fuerza es el encargado de alimentar la carga mediante un conjunto de dispositivos de protección, apertura y cierre. Este circuito es complemento del circuito de control, ya que, sin el control, la carga nunca recibiría energía eléctrica.



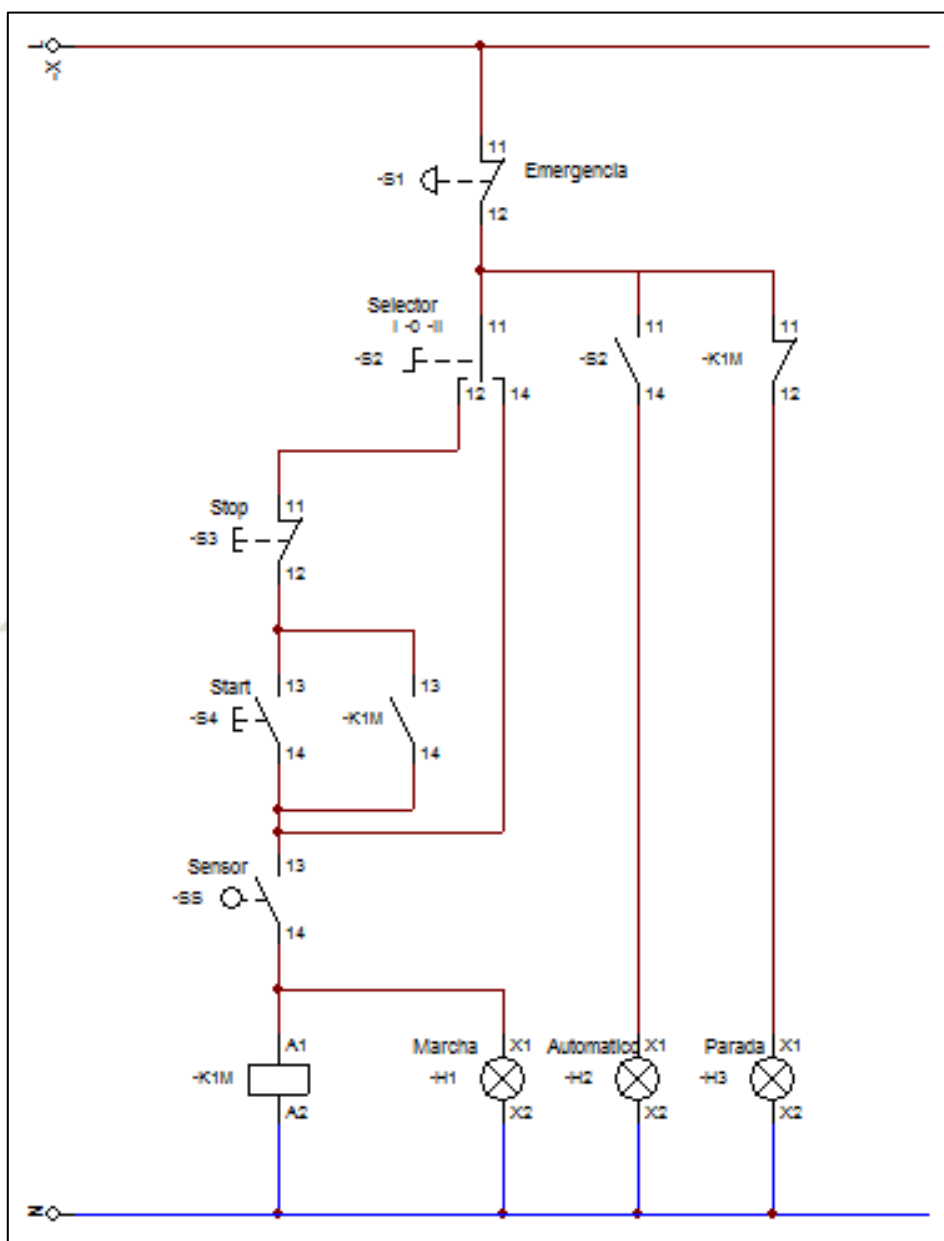
*Figura 96. Circuito de fuerza.  
Fuente: Elaboración propia.*

El tablero en general cuenta con una conexión a tierra debidamente señalizada.



### Circuito de control.

El circuito de control es el encargado de la maniobra de apertura o cierre del contactor para así poder alimentar la carga, se utiliza una serie de pulsadores, selectores, indicadores, y un relé proveniente del sensor.



*Figura 97. Circuito de control.  
Fuente: Elaboración propia.*

Cabe resaltar que para la conexión principal se utilizó cable 14 AWG vulcanizado, para el circuito de fuerza se utilizó cable 16 AWG y para el circuito de control se utilizó 18 AWG.

### 5.3. Etapa Mecánica.

En esta etapa describimos la estructura mecánica, que viene a ser el módulo físico en el cual se pondrá a prueba el funcionamiento del sensor. Para nuestra aplicación tenemos 3 partes fundamentales, la estructura metálica, la faja y la transmisión mecánica.

#### 5.3.1. Estructura metálica.

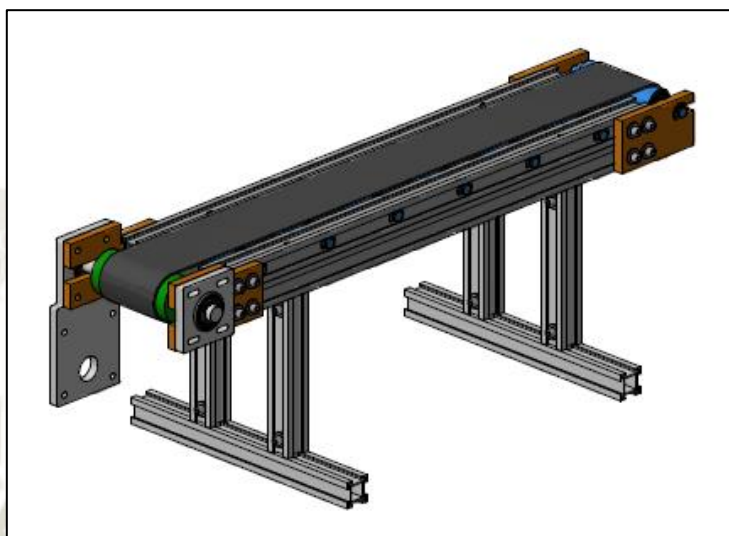
Es el armazón principal o el esqueleto, que se trabajó en dos materiales distintos, fierro negro para los puntos de apoyo y perfil de aluminio para la estructura horizontal, por ser más liviano y de este modo reducir el peso del módulo.

El perfil de aluminio utilizado es de la serie 2020, que es mucho más resistente para estructuras industriales.

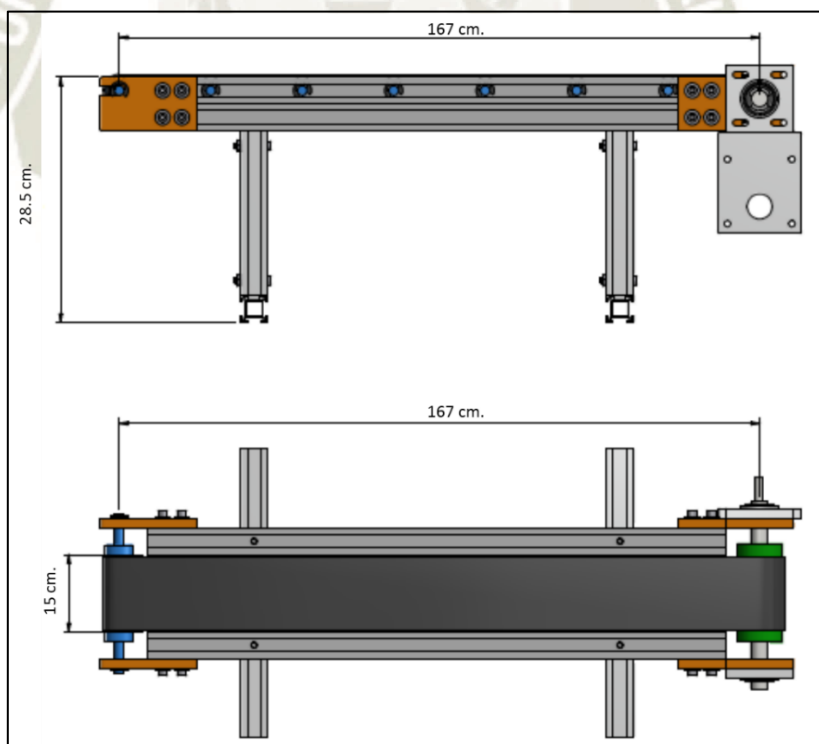


*Figura 98. Perfil de aluminio tipo 2020.  
Fuente: Imagen disponible en internet.*

La estructura horizontal es de 1.60 mts. Y en ella distribuidos equitativamente se encuentran 8 polines de 5 cm. de diámetro.



*Figura 99. Diseño 3D de la estructura metálica.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 100. Vista lateral y superior de la estructura metálica.  
Fuente: Elaboración propia.*



### 5.3.2. Faja principal.

El módulo de prueba para el sensor posee una faja principal que cumplen las especificaciones apropiadas para la ejecución y prueba del sensor.

Para casos de pruebas, ser adoso en la cara exterior contenedores tipo bolsa para que contengan los bucles resonantes que deberían ir en una aplicación real.

A continuación, indicaremos algunas características de la faja:

- Material: Caucho reforzado con alma de Nylon de 2 mm. de grosor
- Ancho: 15 cm.
- Largo: 3.46 mts.

El objetivo principal de la faja es llevar el material sea cual sea la manufactura, en nuestro caso práctico, la faja girará en vacío, pero contendrá estas bolsas contenedoras de los bucles resonantes, que por comodidad de escala fueron colocados en la cara exterior de la faja.



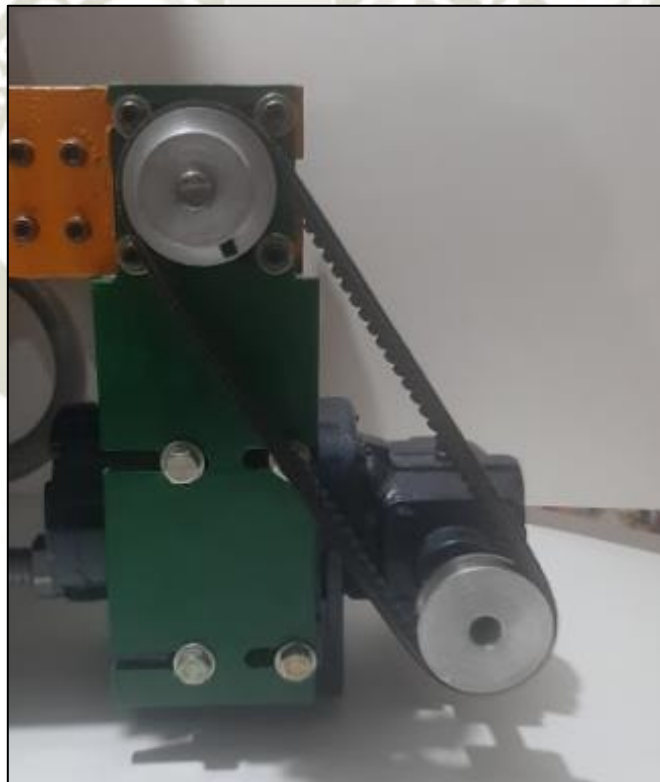
*Figura 101. Faja de caucho con bolsas de bucles.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 5.3.3. Transmisión mecánica.

Es una parte fundamental del módulo. Esta transmisión es la encargada de generar el movimiento de la faja, transmite el movimiento del motor al polín principal. La transmisión en general está dispuesta por 3 partes, 2 poleas y una faja de caucho entre poleas.

Las dos poleas son de 5.5 cm. de diámetro, ya que como se explicó anteriormente, el motor ya cuenta con un reductor, así que entre polea y polea no necesitamos incrementar o reducir la velocidad de la faja.

La faja transmisora es de 9.5x590 mm.



*Figura 102. Transmisión mecánica.  
Fuente: Elaboración propia.*

## CAPÍTULO VI

### INTERPRETACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo final, se demostrará el funcionamiento del sensor mediante pruebas en el módulo y así obtener los resultados propuestos previos al desarrollo de la investigación.

##### 6.1. Introducción.

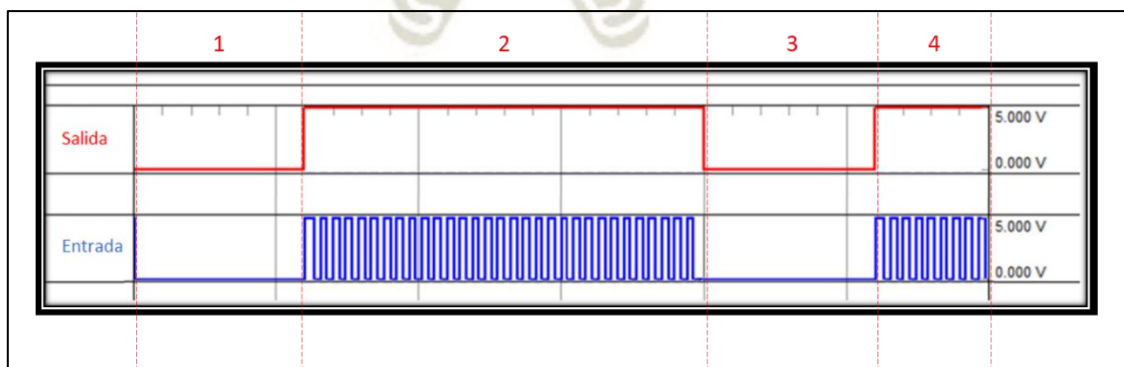
Una vez concluido la construcción del módulo, se procede a poner en funcionamiento, previamente ya se explicó detalladamente el fenómeno de sensado de señal, el cual comprende la obtención de pulsos cada vez que un bucle resonante dispuesto en la faja pasa por el sensor, y la generación de una señal continua a partir de estos pulsos, de tal manera que el proceso es continuo. Si sucediera la interrupción de estos pulsos por un determinado tiempo, el sistema se detiene.

Por lo cual para desarrollar las pruebas se hará mediante simulación de pulsos y la puesta en funcionamiento general del módulo.

##### 6.2. Pruebas.

###### 6.2.1. Pruebas por medio de simulación de pulsos.

En esta etapa, demostraremos el funcionamiento obteniendo el tren de pulsos del receptor y la salida al relé. En teoría cada vez que el bucle pase por el receptor, se genera un pulso y por consecuencia la salida es 1 lógico.



*Figura 103. Señales obtenidas con el módulo en funcionamiento.*

*Fuente: Elaboración propia.*



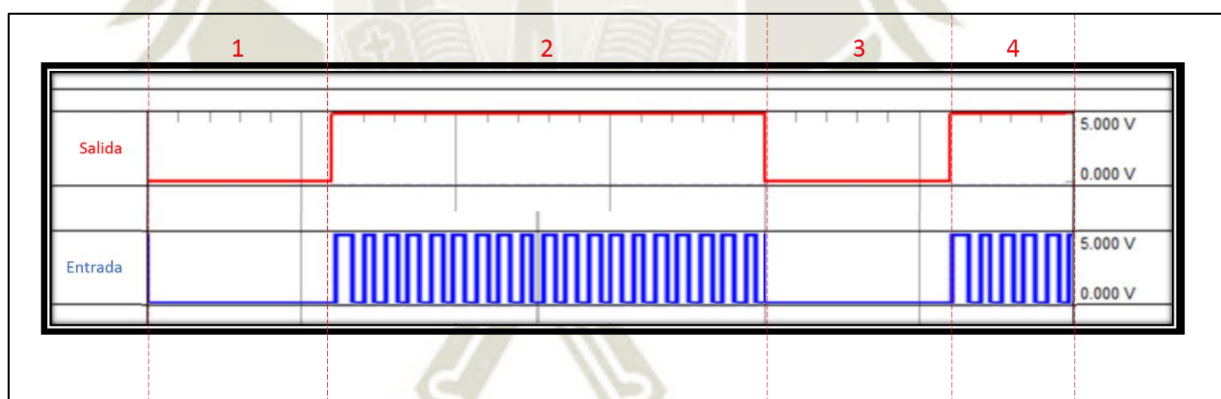
En la figura 103 se observa 4 etapas de tiempo, en la primera etapa, la señal de entrada y salida están en 0, esto quiere decir que el sensor no detecta bucle y que la salida o motor está en modo apagado.

En la etapa 2 se observa que la entrada o receptor están obteniendo pulsos, lo que hace que el motor se encuentre en estado encendido. Este fenómeno ocurre en un funcionamiento normal de la faja.

La etapa 3 muestra que el pulso ha sido interrumpido lo que ocasiona que el motor se apague en un determinado tiempo.

La etapa 4 muestra que el sistema ha sido reiniciado, ya sea después de un mantenimiento y/o una verificación del proceso.

En la práctica o aplicación de la solución, se puede dar que por desgaste un bucle se rompa sin la necesidad de que la faja se rasgue o también puede haber una mala lectura del sistema, por lo cual el receptor no generaría un pulso, en este caso, el sensor está configurado para que detenga el sistema al no tener lectura de 3 bucles, esto es variable y configurable.



*Figura 104. Señales obtenidas con el módulo en funcionamiento a menor frecuencia de lectura.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 104 se observa que la frecuencia de lectura del sensor es menor, y analizando la etapa de funcionamiento 2, observamos que el sistema no se detiene. Tal cual la explicación de la figura 103, el sistema solo se detiene cuando el sensor no detecta bucles resonantes en un determinado lapso de tiempo.

### 6.2.2. Pruebas mediante funcionamiento de módulo.

Para desarrollar esta prueba se tiene que tener en cuenta que cada 35 cm. en la faja se encuentran distribuidos los bucles resonantes, en total son 10 bucles enumerados.

Para esta prueba no fue necesario cortar la faja, ya que cada bucle es extraíble y reinsertarle.

Por seguridad en las pruebas con el módulo en funcionamiento solo se puede retirar los bucles, ya que es necesario que el módulo este apagado para reinsertarlos.

Para el proceso de prueba es necesario que la faja esté en funcionamiento, y que periódicamente se retire algunos bucles resonantes, para así demostrar el funcionamiento del sensor.

Ya se explicó que si en caso de que haya ruptura interna o mala lectura de un solo bucle el sistema seguirá funcionando correctamente, si el sistema detecta dos bucles rotos, el sistema se detiene automáticamente. Esto demuestra que en el caso real la faja transportadora este rasgándose, una vez que la ruptura longitudinal destruya 2 bucles el sistema se detiene, evitando que la faja siga sufriendo daño y el costo de mantenimiento sea menor.

FALLO DE 1 SOLO BUCLE RESONANTE		
Numero de prueba	# de bucle en falla	Proceso se detuvo
Prueba 1	1	No
Prueba 2	2	No
Prueba 3	3	No
Prueba 4	4	No
Prueba 5	5	No
Prueba 6	6	No
Prueba 7	7	No
Prueba 8	8	No
Prueba 9	9	No
Prueba 10	10	No

*Tabla 15. Pruebas con falla de un solo bucle.*

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>FALLO DE 2 BUCLES RESONANTES</b>		
<b>Numero de prueba</b>	<b># de bucles en falla</b>	<b>Proceso se detuvo</b>
Pruebas del 11 al 19	1 y 2	<b>SI</b>
	1 y 3	No
	1 y 4	No
	1 y 5	No
	1 y 6	No
	1 y 7	No
	1 y 8	No
	1 y 9	No
	1 y 10	<b>SI</b>
Pruebas del 20 al 27	2 y 3	<b>SI</b>
	2 y 4	No
	2 y 5	No
	2 y 6	No
	2 y 7	No
	2 y 8	No
	2 y 9	No
	2 y 10	No
Pruebas del 28 al 34	3 y 4	<b>SI</b>
	3 y 5	No
	3 y 6	No
	3 y 7	No
	3 y 8	No
	3 y 9	No
	3 y 10	No
Pruebas del 35 al 40	4 y 5	<b>SI</b>
	4 y 6	No
	4 y 7	No
	4 y 8	No
	4 y 9	No
	4 y 10	No
Pruebas del 41 al 45	5 y 6	<b>SI</b>
	5 y 7	No
	5 y 8	No
	5 y 9	No
	5 y 10	No
Pruebas del 46 al 49	6 y 7	<b>SI</b>
	6 y 8	No
	6 y 9	No
	6 y 10	No
Pruebas del 50 al 52	7 y 8	<b>SI</b>
	7 y 9	No
	7 y 10	No
Pruebas del 53 al 54	8 y 9	<b>SI</b>
	8 y 10	No
Prueba 55	9 y 10	<b>SI</b>

*Tabla 16. Pruebas con falla de dos bucles indistintos.*

*Fuente: Elaboración propia.*



<b>FALLO DE 3 BUCLES SEGUIDOS</b>		
<b>Numero de prueba</b>	<b># de bucles en fallan</b>	<b>Proceso se detuvo</b>
Prueba 56	1 - 2 - 3	<b>SI</b>
Prueba 57	2 - 3 - 4	<b>SI</b>
Prueba 58	3 - 4 - 5	<b>SI</b>
Prueba 59	4 - 5 - 6	<b>SI</b>
Prueba 60	5 - 6 - 7	<b>SI</b>
Prueba 61	6 - 7 - 8	<b>SI</b>
Prueba 62	7 - 8 - 9	<b>SI</b>
Prueba 63	8 - 9 - 10	<b>SI</b>
Prueba 64	9 - 10 - 1	<b>SI</b>
Prueba 65	10 - 1 - 2	<b>SI</b>

*Tabla 17. Pruebas con falla de 3 bucles consecutivos.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 6.3. Interpretación de pruebas y resultados.

Según lo observado en las figuras 103, 104 y en las tablas 15, 16 y 17 se observa que el sistema se detiene una vez que dos bucles resonantes consecutivos no son sensados en un periodo determinado de tiempo.

- En la primera fase de la prueba, se retiró 1 bucle a la vez, simulando la ruptura de solo un bucle por prueba, esto dio por resultado que el sistema no se detenga, cabe detallar que cada vez que un bucle era retirado, se paraba el proceso para reponer y pasar al siguiente bucle numerado. Para corroborar, se hizo una prueba retirando bucles pares y bucles impares, a lo cual el sistema nunca se detuvo,
- En la fase de prueba, se retiró 2 bucles seguidos ordenadamente, esto ocasionó que el sistema se detenga, el resultado o la explicación es que, en la práctica, dos bucles se rompen, deteniendo el sistema evitando que un tercer bucle sufra ruptura.
- En la fase 3 se retiraron simultánea y ordenadamente 3 bucles, el sistema al detectar 2 bucles retirados, se detuvo, no siendo necesario detectar el tercero o llegar al punto del tercero, también se explicaría como una ruptura de faja.  
Esta prueba se hizo solo para demostración de la reacción rápida del sensor a la ausencia de 2 bucles.

En el 100 % de pruebas realizadas, la detección fue correcta, esto garantiza que los resultados sean óptimos en una posible aplicación a sistemas reales.

## CONCLUSIONES

La metodología empleada para el desarrollo de este proyecto de tesis se inició desde el análisis de la problemática y la necesidad de implementar una solución para el beneficio tecnológico y económico al problema existente de ruptura de fajas longitudinales, para luego diseñar una solución e implementación óptima que permita evitar problemas de producción en la industria.

En el transcurso de cada fase, se realizó el análisis correspondiente utilizando los conocimientos adquiridos en la formación universitaria y experiencia profesional.

Por lo tanto, se obtuvo las siguientes conclusiones:

**Primero:** Se logró diseñar e implementar un sensor de ruptura longitudinal en fajas transportadoras de bajo costo con respecto a tecnología existente, teniendo como resultado una solución óptima, competitiva y con alta ventaja económica en su implementación.

**Segundo:** El sistema permite detectar una falla o eventualidad en cualquier proceso industrial en el cual se utilice fajas transportadoras, la detección es inmediata, evitando así que la faja sufra un mayor daño y el tiempo de mantenimiento sea corto, de este modo se consigue una reducción en tiempo de mantenimiento y costos.

**Tercero:** El uso y aplicación de esta solución no está limitada a factores de dimensión, ya que puede adecuarse y modificarse a diferentes procesos industriales teniendo como ventaja su versatilidad, el dimensionamiento de producción, fácil manejo de instalación y su fácil integración a sistemas automatizados existentes.



**Cuarto:** El diseño del prototipo utiliza componentes electrónicos de fácil obtención, aplicación y entendimiento, que son ventajas favorables en caso de futuros mantenimientos o para el desarrollo de mejoras.

**Quinto:** El principio de funcionamiento está basado en campos electromagnéticos, que es un campo muy poco desarrollado en tecnología de sensórica, lo que conlleva a futuro la búsqueda de soluciones nuevas utilizando esta tecnología en diferentes campos de la electrónica.

**Sexto:** Se puede concluir que el módulo impacta positivamente en la formación universitaria y profesional de los alumnos, ya que es un sistema modificable y de fácil entendimiento, lo que conlleva a desarrollar futuras soluciones utilizando esta nueva tecnología de campos electromagnéticos.

## RECOMENDACIONES

- Primero:** Es importante que se incentive el desarrollo de proyectos similares con respecto a campos electromagnéticos, ya que es una tecnología nueva y de amplio margen de aplicación.
- Segundo:** Se debe considerar el buen uso del módulo y su correcta utilización, y para su óptimo aprovechamiento, se recomienda desarrollar una previa lectura al trabajo de investigación, de este modo evitar accidentes y daños.
- Tercero:** Se debe considerar las especificaciones técnicas de alimentación del módulo para evitar el deterioro del sensor.
- Cuarto:** Se deja abierta la posibilidad de modificación de las diferentes etapas del módulo, para permitir a los estudiantes el desarrollo o implementación de nuevas aplicaciones.
- Quinto:** Se recomienda llevar un mantenimiento programado en las partes mecánicas móviles, específicamente en el motor reductor, ya que la falta de lubricación ocasionaría la inoperatividad del motor en general.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] <https://www.ecured.cu/Bobina>
- [2] *Manual de electrotecnia básica*, I.E.S. Juan de La Cierva – España. P. 23.
- [3] <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Las-bobinas.html>
- [4] Pérez Arango, José David. *ELECTRICIDAD INALÁMBRICA*, Universidad tecnológica de Pereira. (2010). P. 15.
- [5] Pérez Arango, José David. *ELECTRICIDAD INALÁMBRICA*, Universidad tecnológica de Pereira. (2010). P. 31.
- [6] Pérez Arango, José David. *ELECTRICIDAD INALÁMBRICA*, Universidad tecnológica de Pereira. (2010). P. 14.
- [7] *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. Grupo Pandora, España. (2001). P. 9.
- [8] *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. Grupo Pandora, España. (2001). P. 17.
- [9] Héctor Osorio Martínez. *TEORIA ELECTROMAGNETICA*. Tecnológico de Ecatepec de Morelos, Estado de México. (2007). P. 3.
- [10] *Tesla y la Witricidad - Primera parte* | [teslablog.iaa.es](http://teslablog.iaa.es) - <http://teslablog.iaa.es/tesla-y-la-witricidad-primera-parte>
- [11] Pérez Arango, José David. *ELECTRICIDAD INALÁMBRICA*, Universidad tecnológica de Pereira. (2010). P. 17.
- [12] Pérez Arango, José David. *ELECTRICIDAD INALÁMBRICA*, Universidad tecnológica de Pereira. (2010). P. 17-20.
- [13] Pérez Arango, José David. *ELECTRICIDAD INALÁMBRICA*, Universidad tecnológica de Pereira. (2010). P. 17-45.
- [14] *Wireless Qi Charger* – Instituto de Ingeniería Eléctrica-Uruguay (2015). P. 11.



[15] *EXPERIMENTO DE TRANSFERENCIA INALÁMBRICA DE ENERGÍA CON RECEPTOR PORTABLE*. Universidad Veracruzana (2013). P. 7-10.

[16] *Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo*. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona - Universidad Politécnica de Cataluña. P. 6-9.

[17] *Fernández Amador, Gerardo. SENSORES MAGNETICOS E INDUCTIVOS* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2005). P. 66-71.

[18] *Fernández Amador, Gerardo. SENSORES MAGNETICOS E INDUCTIVOS* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2005). P. 105-107.

[19] [https://es.wikipedia.org/wiki/Cinta\\_transportadora](https://es.wikipedia.org/wiki/Cinta_transportadora)

[20] *Fabio Gomez-Estern. Cintas transportadoras en automatización de la producción*.

[21] *Daniel W. Hart. Pearson Education S.A. Madrid 2001. ELECTRONICA DE POTENCIA*. P. 23-28.

[22] <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/circuitos/temporizador/monoestable.htm>

[23] *Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA) - Belt conveyors for bulk materials*. P.338-342